TECHNISCHE HANDBÜCHER FÜR BAUPRAKTIKER

BAND VIII, 1. Teil

TECHNISCHE HANDBÜCHER FÜR BAUPRAKTIKER

Herausgegeben von

Prof. w. Hofrat Dipl.-Ing. Dr. techn.
JULIUS DUHM

BAND VIII:

GEODÄSIE UND PHOTOGRAMMETRIE

1. Teil:

INSTRUMENTE UND VERFAHREN DER VERMESSUNG UND GRAPHISCH-MECHANISCHEN AUSWERTUNG

2. Teil:

RECHNERISCHE BEARBEITUNG DER VERMESSUNGS-ERGEBNISSE

VERLAG GEORG FROMME & CO., WIEN

GEODÄSIE UND PHOTOGRAMMETRIE

1. Teil:

INSTRUMENTE UND VERFAHREN DER VERMESSUNG UND GRAPHISCH-MECHANISCHEN AUSWERTUNG

Von

Dr. FRANZ ACKERL

Ord. Professor für Geodäsie und Photogrammetrie
an der Hochschule für Bodenkultur in Wien

Mit 294 Abbildungen und graphischen Darstellungen
sowie 14 Zahlentafeln im Text

1950

VERLAG GEORG FROMME & CO., WIEN

Einbegleitung des Herausgebers

Das Fachgebiet Geodäsie und Photogrammetrie zählt bekanntlich zu den wichtigsten Grundlagen der Bauingenieurwissenschaften. Es ist mir nun eine besondere Freude und Genugtuung, der Fachwelt gegenständliches Buch, dem baldigst ein zweiter Teil, behandelnd die rechnerische Bearbeitung der Vermessungsergebnisse, folgen soll, hiemit als Band VIII meiner Buchsammlung vorlegen zu können.

Die Abfassung des Buches erfolgte gemäß den Richtlinien für diese Buchsammlung „Technische Handbücher für Baupraktiker". Diesbezüglich verweise ich auf die Ausführungen in den Absätzen 2 und 3 des Vorwortes des Verfassers Herrn Professor Dr. Franz Ackerl, denen ich nichts weiter beizufügen habe.

Zum Schluß kann ich nicht umhin, auch an dieser Stelle Herrn Professor Dr. Ackerl aufrichtigst für seine Mühewaltung zu danken, erweist ja geradezu jede Zeile des Buches nicht nur den hervorragenden Lehrer, sondern auch den erfahrenen Praktiker. Mein Dank gebührt auch dem Verlag Fromme & Co., der trotz der derzeitigen schwierigen Lage, in der sich das österreichische Verlagswesen befindet, keine Mühe und Kosten scheute, das Buch erscheinen zu lassen.

Wien, August 1950.

w. Hofrat Professor Dr. Duhm.

VORWORT

Der Einladung, im Rahmen der „Technischen Handbücher für Baupraktiker“ die „Geodäsie und Photogrammetrie“ zu bearbeiten, habe ich um so lieber Folge geleistet, als sich dabei die Möglichkeit bot, den Entwurf jener Vorlesungen abzurunden, die ich an der Technischen Hochschule in Graz für Vermessungs- und Bauingenieure gehalten habe, zugleich aber den Umfang des Stoffes so abzustimmen, daß vor allem dem projektierenden und praktisch arbeitenden Ingenieur jene Unterlagen geboten werden, die er in einem Handbuch erwarten darf.

Diese Absicht bedingt eine Darstellung, die den Praktiker nicht immer und vor allem nicht unnötigerweise zwingt, längere theoretische Entwicklungen zu verfolgen, denn mit Fug und Recht muß angenommen werden, daß er einmal die Grundlagen des Vermessungswesens studiert, erfaßt und verarbeitet hat, ehe er die Reife des Praktikers erlangte.

Es soll daher diese Bearbeitung durchaus nicht das in zahlreichen hervorragenden, derzeit aber leider sehr schwierig oder gar nicht erwerbbaren Werken in allen Einzelheiten entwickelte Wissensgut der Geodäsie und Photogrammetrie nur wiederholen oder neu darstellen, sondern hauptsächlich die Bedürfnisse des seine Erinnerungen auffrischenden Praktikers befriedigen, aber auch dem Studierenden einen zusammenfassenden Ausblick auf den letzten Stand des recht umfangreich gewordenen Gesamtgebietes eröffnen.

Hinsichtlich der Gliederung des Stoffes wurde jener Aufbau gewählt, der sich in meinen nach dem Kriege wieder aufgenommenen Vorlesungen für die Hörer der kulturtechnischen und forstwirtschaftlichen Fakultät an der Hochschule für Bodenkultur in Wien bewährt hat, weil er in der gleichzeitigen und ineinandergreifenden Behandlung des I. Teiles (Instrumente und Verfahren) bzw. des II. Teiles (Rechnerische Bearbeitung der Vermessungsergebnisse) ein ermüdungsfreies und andauerndes Interesse gewährleistet.

Verweisungen in dem nun vorliegenden I. Teil auf den in etwa Jahresfrist nachfolgenden II. Teil und solche des II. Teiles auf den I. Teil halten demnach immer Schritt mit dem Ablauf der Erörterungen, wenn man beide Teile nebeneinander benützt oder durcharbeitet.

Die einfache Bezeichnung „Geodäsie" will andeuten, daß auch die dem Bereiche der „Höheren Geodäsie" angehörenden Grundlagen, insbesondere im II. Teil, soweit eingearbeitet sind, als man sie zur Lösung praktischer Vermessungsaufgaben benötigt.

Einem weitergehenden Studium des Faches oder einem tieferen Eindringen in Einzelfragen dienen die nach jedem Abschnitt zusammengestellten Literaturhinweise. Sie können keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, denn sie beziehen sich im allgemeinen nur auf einige wenige Standardwerke der Geodäsie und Photogrammetrie, die einen nicht wegdenkbaren Bestandteil jeder Fachbibliothek bilden müssen bzw. an einem Hochschulinstitut sicher erreichbar sind.

Die rasche und immer noch im Fluß befindliche Entwicklung der Luftbildmessung hat es bewirkt, daß hier die Hinweise auf Veröffentlichungen in Zeitschriften reichlicher ausfielen als im geodätischen Teil. Alle für Österreich immer noch bestehenden und kaum überwindbaren Schwierigkeiten der Beschaffung von ausländischer Fachliteratur verursachten es, daß einige neu erschienene oder neu aufgelegte Werke (wie z. B.: *M. Zeller,* Lehrbuch der Photogrammetrie, Zürich 1947, Orell Füssli; *M. Näbauer,* Vermessungskunde, 3. Aufl., Berlin 1949, Springer) noch nicht berücksichtigt werden konnten. Dem Ehrendoktor unserer Hochschule, Herrn Prof. Dr. *Baeschlin,* Zürich, verdankt die Bibliothek meiner Lehrkanzel viele Buch- und Zeitschriftengeschenke.

Für die Überlassung der Druckstöcke zu Abbildungen, die, trotz aller zeitbedingten Hindernisse durch Zoll- und Zensursperren, ihren Weg nach Wien zurücklegten, danke ich in herzlichster Weise den Herren *G. Coradi,* Zürich; *H. Wild* der Kern & Co. A. G., Aarau; dem Ehrenbürger unserer Hochschule, Herrn Direktor *A. J. Schmidheini* der Verkaufs A. G. H. Wilds geodätische Instrumente, Heerbrugg; sowie den Herren *Bensmann* und *Reifkogel* der Werke Optik Carl Zeiß, Jena, bzw. *Manek* und *Messter* von Zeiß-Aerotopograph in München.

Auch alle österreichischen Institute für geodätisch-feinmechanische Erzeugung, nämlich *A. Fromme, C. P. Goerz, G. m. b. H., Neuhöfer & Sohn A. G., R. u. A. Rost* in Wien und *Gebrüder Miller, G. m. b. H.* in Innsbruck, haben freundlichst die erbetenen Klischees zur Verfügung gestellt. Die Herkunft jedes entlehnten Druckstockes ist neben der Abbildungsnummer angegeben.

Einige Neukonstruktionen von geodätisch-photogrammetrischen Instrumenten, die in der Zeit zwischen der Fertigstellung des Manuskriptes zu diesem Buch (November 1949) und der Beendigung seines Druckes erschienen sind, konnten im Text nicht mehr besprochen werden. In dieser Hinsicht sei insbesondere auf das von *Zeiß-Opton*, Oberkochen (Württemberg), vor kurzem herausgebrachte Nivellierinstrument Ni 2 (siehe Ankündigung auf Seite 471) verwiesen. Es ist dies ein völlig neuartiges Gerät für genaue technische Nivellements, mit einem im Fernrohr eingebauten Kompensator, der die Ziellinie automatisch horizontal stellt.

Wertvolle Hilfe bei der Zeichnung der Abbildungen bzw. der Korrekturlesung haben mir meine Assistenten, die Herren Diplomingenieure *Pichler* und *Zeger*, sowie Herr *Strassky* als wissenschaftliche Hilfskraft geleistet.

Herrn Hofrat Prof. Dr. *Duhm* danke ich für den Entschluß, dem Fach Geodäsie und Photogrammetrie, als einer oft ausschlaggebenden Hilfswissenschaft aller projektierenden Ingenieure, einen ausreichenden Raum in dem Handbuch überlassen zu haben, und dem Verlag *Georg Fromme & Co.* für die Ausstattung und die Erfüllung mancher drucktechnischer Wünsche.

Wien, November 1950.

F. Ackerl.

INHALT

Seite

Abschnitt F

Abschnitt G

Seite

Abkürzende Bezeichnungen

zu den Literaturhinweisen

Baeschlin, Geodäsie — *C. F. Baeschlin*, Lehrbuch der Geodäsie, Zürich 1948, Orell Füssli.

Harbert, V. K. I, II — *E. Harbert*, Vermessungskunde, I. Bd., Berlin 1939; II. Bd., Berlin 1943 (2. Aufl.).

Hartner-Doležal, N. G. I 1, I 2, II — *F. Hartner*, *J. Wastler*, *E. Doležal*, Hand- und Lehrbuch der Niederen Geodäsie, I. Bd., 1. Hälfte; I. Bd., 2. Hälfte; II. Bd.; sämtliche Wien 1910, Seidel u. Sohn.

Hopfner, Erdfigur — *F. Hopfner*, Die Figur der Erde, Wien 1927, Bundesverlag.

Hopfner, Geodäsie — *F. Hopfner*, Physikalische Geodäsie, Leipzig 1933, Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H.

Hopfner, H. G. — *F. Hopfner*, Grundlagen der höheren Geodäsie, Wien 1949, Springer.

Jordan-Eggert, V. K I, II 1, II 2, III 1, III 2 — *W. Jordan*, *O. Eggert*, Handbuch der Vermessungskunde, I. Bd., Stuttgart 1935; II. Bd., 1. Halbbd., Stuttgart 1931; II. Bd., 2. Halbbd., Stuttgart 1933; III. Bd., 1. Halbbd., Stuttgart 1939; III. Bd., 2. Halbbd., Stuttgart 1941, sämtliche Metzler.

Näbauer, V. K. — *M. Näbauer*, Vermessungskunde, Bd. I/4 von: *R. Otzen*, Handbibliothek für Bauingenieure, Berlin 1932, Springer.

Tardi, Géodésie I, II — *P. Tardi*, Traité de Géodésie, fascicule I, II, Paris 1934, Gauthier-Villars.

Werkmeister, Lexikon — *Werkmeister, P.*, Lexikon der Vermessungskunde, Berlin 1943, Wichmann.

Baeschlin-Zeller, Stereophotogrammetrie — *C. F. Baeschlin*, *M. Zeller*, Lehrbuch der Stereophotogrammetrie, Zürich 1934, Orell Füssli.

Dock, Aufnahmearbeiten — *H. Dock*, Aufnahmearbeiten in der terrestrischen Stereophotogrammetrie, Wien-Leipzig 1935, C. Gerolds Sohn.

Dock, Auswertung — *H. Dock*, Rechnerische und zeichnerische Auswertung terrestrischer stereophotogrammetrischer Aufnahmen, Wien-Leipzig 1932, C. Gerolds Sohn.

Finsterwalder, Photogrammetrie — *R. Finsterwalder*, Photogrammetrie, Berlin 1939, Walter de Gruyter u. Co.

Gruber, Ferienkurs — *O. v. Gruber*, Ferienkurs in Photogrammetrie, Stuttgart 1930, Wittwer.

Hugershoff, Photogrammetrie — *R. Hugershoff*, Photogrammetrie und Luftbildwesen; Bd. VII von: *A. Hay*, Handbuch der wissenschaftlichen und angewandten Photographie, Wien 1930, Springer.

Löschner, Erdbildmessung — *H. Löschner*, Einführung in die Erdbildmessung, Leipzig-Wien 1930, Deuticke.

Rube, Photogrammetrie — *K. Rube*, Photogrammetrie; Bd. IV von: *W. Pietschmann*, Handbuch für das Vermessungswesen, Berlin 1940, Elsner.

Schrifttum — *G. Albrecht*, Deutsches Schrifttum über Bildmessung und Luftbildwesen, Berlin 1938, Wichmann.

Schwidefsky, Einführung — *K. Schwidefsky*, Einführung in die Luft- und Erdbildmessung, Leipzig-Berlin 1939, Teubner.

Abkürzende Bezeichnungen

von Zeitschriften

A. f. Ph. — Internationales Archiv für Photogrammetrie [bis Bd. VI redigiert von *E. Doležal*; Bd. VII (1931) u. Bd. VIII (1937) redigiert von *C. F. Baeschlin*], Baden bei Wien, Rohrer.

A. V. N. — Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, Berlin, Wichmann.

B. u. L. — Bildmessung und Luftbildwesen, Berlin, Wichmann.

L. u. L. — Luftbild und Luftbildmessung, Berlin, Hansa Luftbild G. m. b. H.

Mitt. R. f. L. — Mitteilungen des Reichsamtes für Landesaufnahme, Berlin, R. f. L.

Öst. Z. f. V. — Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen, Wien, Österreichischer Verein für Vermessungswesen.

Photogrammetria — Photogrammetria, Internationale Zeitschrift für alle Zweige der Photogrammetrie, Berlin, Wichmann.

Schweiz. Z. f. V. — Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik (ab 1947: für Vermessung und Kulturtechnik), Winterthur, Buchdruckerei Winterthur.

Z. f. I. — Zeitschrift für Instrumentenkunde, Berlin, Springer.

Z. f. V. — Zeitschrift für Vermessungswesen, Stuttgart, Wittwer.

1 Einleitung

(Form und Größe der Erde, Abgrenzung des Arbeitsgebietes, Aufgaben der Vermessung)

Die Geodäsie vermittelt jene Kenntnisse, die es ermöglichen, die Form und Größe der Erde zu bestimmen bzw. die sichtbar gegebene Gliederung der Erdoberfläche lagetreu und höhenrichtig darzustellen.

Für große Gebiete, bei denen die Krümmung der Erdoberfläche beachtet werden muß, liefern die Verfahren der Höheren Geodäsie jene Ergebnisse, die zur Vermessung von kleineren Gebieten mit den Mitteln der Niederen Geodäsie als Grundlage dienen.

Wir unterscheiden die sichtbare oder physische Erdoberfläche als Gegenstand der Vermessung und die im allgemeinen unsichtbare mathematische oder physikalische Oberfläche als jene Schar von Niveauflächen[1], die in jedem ihrer Punkte normal stehen zur Richtung der Schwerkraft. Die in Meereshöhe verlaufende Niveaufläche bezeichnen wir als Geoid[2], und die Physikalische Geodäsie führt uns zur Erkenntnis, daß dieses Geoid in Undulationen von einem Niveausphäroid[3] abweicht, das für die gewöhnlichen Rechenarbeiten der Höheren Geodäsie durch ein Umdrehungsellipsoid[4] angenähert werden darf. Bei gewissen Aufgaben ersetzt man einen beschränkten Teil der ellipsoidischen Oberfläche durch die lokale Schmiegungskugel mit dem Radius $R = \sqrt{M \cdot N}$, worin M den Meridiankrümmungshalbmesser und N den Querkrümmungshalbmesser bedeutet. Für manche Zwecke reicht es auch hin, die Erde als Kugel aufzufassen.

Zahlreiche ausgeführte Gradmessungen[5] lieferten die Unterlagen für die Berechnung von sog. Referenz- oder Bezugsellipsoiden mit den Halbachsen a bzw. b und der Abplattung $\alpha = (a - b) : a$. Je nach den verwendeten Gradmessungsergebnissen weichen die Maße der Bezugsellipsoide[6] voneinander ab, z. B.:

Ellipsoid von *Bessel* (1841)

$a = 6\,377\,397{,}155$ m, $b = 6\,356\,078{,}963$ m, $\alpha = 1 : 299{,}153$.

Ellipsoid von *Helmert* (1907) (abgerundete Werte)

$a = 6\,378\,200$ m, $b = 6\,356\,818$ m, $\alpha = 1 : 298{,}3$.

Ellipsoid von *Hayford* (1909) (Internationales Ellipsoid, 1924)

$a = 6\,378\,388$ m, $b = 6\,356\,911{,}946$ m, $\alpha = 1 : 297$.

Für Österreich ist das Bezugsellipsoid von *Bessel* in Geltung. Wir merken, daß der Unterschied der Halbachsen rund 21 km beträgt und daß die Länge des Meridianviertels sich mit 10 000 856 m ergibt.

Ersetzt man dieses Ellipsoid durch eine Kugel mit gleich großer Oberfläche (Volumen), so findet man einen Radius von 6 370 290 m (6 370 283 m), und wir halten fest:

Erdradius $\doteq$ 6370 Kilometer.

Entfernen wir uns von einem Punkt dieser Kugel nach allen Richtungen hin um den Kreisbogen b, so wird eine Kugelkalotte mit der Oberfläche F abgegrenzt. Legen wir im Ausgangspunkt eine Tangentialebene und bilden den Kalottenrand — vom Erdmittelpunkt aus — auf die Tangentialebene ab, so entsteht ein Kreis vom Radius t und der Fläche F'. Der Abstand des Ausgangspunktes von der Randkreisebene der Kalotte ist gleich ihrer Pfeilhöhe h.

Die dem Erdradius $R \doteq 6370$ km entsprechenden Größenverhältnisse erkennt man aus den folgenden Beispielen:

$b = 5$ km, $t - b \doteq 1$ mm, $h = 1{,}96$ m, $F \doteq 78{,}5$ km², $F' - F \doteq 127$ m²,
$b = 10$ km, $t - b \doteq 8$ mm, $h = 7{,}85$ m, $F \doteq 314{,}2$ km², $F' - F \doteq 659$ m².

Wir sehen, daß an sich vernachlässigbare Unterschiede $(t - b)$ zu Flächenunterschieden führen, die nicht etwa auch unbeachtet bleiben dürfen, sondern in Rechnung zu stellen sind.

Demzufolge ergibt sich bei allen Vermessungsaufgaben stets die Notwendigkeit, die Verfahren der Aufnahme und die spätere Auswertung der Vermessungsergebnisse auf das Ziel und den Zweck der Arbeiten abzustimmen. Man erreicht dies einerseits durch Beschränkung der Größe des Vermessungsgebietes[6a], wobei dann die durchgeführten Messungen unmittelbar so weiterverarbeitet werden dürfen, als ob sie auf einer Ebene stattgefunden hätten, wie es z. B. bei den einfachsten numerischen Arbeiten der Niederen Geodäsie (Feldmessen) der Fall ist, oder bei der zeichnerischen Aufnahme mit dem Meßtisch [Abschnitt H]*).

Andererseits, und dies ist in der Praxis der modernen Geodäsie die Regel, werden die über großen Gebieten erhaltenen Vermessungsergebnisse, je nach dem beabsichtigten Zweck, unter einer der vorne erwähnten Annahmen weiterverarbeitet, nämlich, daß die Erdfigur durch das Geoid gegeben ist, oder aber durch ein Ellipsoid bzw. eine Kugel angenähert wird.

---

*) Bedeutet: siehe I. Teil, Abschnitt H.

Da die von hypothetischen Voraussetzungen abhängige Geoidform erst sehr genähert bekannt ist, steht die Physikalische Geodäsie bei der Entwicklung der Geometrie des Geoides ebenbürtig in der Reihe der naturerforschenden Wissenschaften.

Die Höhere Geodäsie leitet aus der bekannten Geometrie des Ellipsoides bzw. der Kugel die Gesetze der ebenen Abbildung dieser nichtabwickelbaren Flächen ab [II 2]*), gibt jene Änderungen und Verzerrungen an, die die ausgeführten Beobachtungen bei dieser Abbildung erleiden, und ermöglicht es damit, daß die sonst schwierigeren Rechnungen auf dem Ellipsoid bzw. der Kugel, durch die Verfahren der ebenen Geometrie ersetzbar sind.

So wie die Beobachtungsergebnisse durch Anbringung der entsprechenden Korrektionen verebnet werden, können natürlich auch die Ergebnisse der ebenen Rechnungen, im umgekehrten Vorgang, wieder in Größen am Ellipsoid bzw. auf der Kugel verwandelt und auf diesen Flächen abgesteckt werden.

Die Aufgaben der Vermessung gliedern sich in solche für die Horizontal- oder Lageaufnahme zur Ermittlung des Grundrisses und in jene der Höhenvermessung, in bezug auf eine bestimmte, in der Seehöhe eines ausgewählten Punktes verlaufende Niveaufläche[7].

In Österreich werden die Grundlagen für sämtliche Vermessungsarbeiten einheitlich durch das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (B. A. f. E. u. V.) geschaffen und der Praxis in Form von Koordinaten und Höhenangaben bzw. von staatlichen Kartenwerken zur Verfügung gestellt.

Das Netz der trigonometrisch bestimmten Punkte (TP) ist auf dem österreichischen Bundesgebiet größtenteils so hinreichend dicht, daß der Anschluß an die Bundesvermessung [Abschnitt K] entweder ohne weitere Triangulierungsarbeit möglich ist, oder daß die unter Umständen doch notwendige Einschaltung von trigonometrischen Punkten, insbesondere im alpinen Gebiet, mit jenen Verfahren bewerkstelligbar ist, die in der Folge zur Darstellung kommen.

Die österreichischen Angaben der See- oder Meereshöhe beziehen sich auf eine Höhenmarke, die im Raume des selbstregistrierenden Flutmessers am Molo Sartorio in Triest angebracht ist und 3,3520 m über dem Mittelwasser des Adriatischen Meeres liegt[8]. Wenn solche Höhenangaben nicht verfügbar sind, dann muß der Höhenanschluß durch trigonometrische Höhenmessung [27]**) bzw. Nivellement [26] aus den benachbarten TP mit bekannter Höhenlage oder aus den Festpunkten der staatlichen Nivellement-Linien hergestellt werden.

*) Bedeutet: siehe II. Teil, Nr. 2.
**) Bedeutet: I. Teil, Nr. 27.

2 Die Maßeinheiten

In der Art einer kurzen Zusammenfassung überblicken wir jene Maße und Maßeinheiten, die bei der Durchführung von Vermessungs- und Rechenarbeiten vorkommen bzw. in Österreich noch in Gebrauch und Geltung sind[9].

2,1 Bogen- und Winkelmaß

Die Beziehung zwischen der analytischen Größe eines Winkels, ausgedrückt durch den Umfang 2π des Kreises mit dem Radius $r = 1$ bzw. durch den vollen Winkel von 360^0 (Sexagesimal- oder Altteilung) oder 400^g (Zentesimal- oder Neuteilung) wird durch die Zahl ϱ hergestellt. Es ist dies jener Zentriwinkel im Kreis mit dem Radius r, der am Umfang den Bogen r abschneidet (Abb. 1). Wir erhalten:

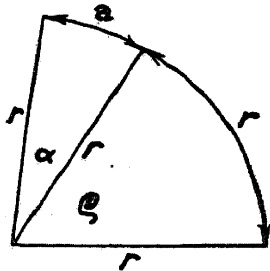



Abb. 1.

$$r : 2r\pi = \varrho^0 : 360^0 \quad \text{oder} \quad \varrho^0 = \frac{180^0}{\pi} \quad \text{für Altteilung,}$$

$$r : 2r\pi = \varrho^g : 400^g \quad \text{oder} \quad \varrho^g = \frac{200^g}{\pi} \quad \text{für Neuteilung.}$$

Altteilung:	Neuteilung:
1^0 (Altgrad) $= 60'$ (Altminuten),	1^g (Neugrad) $= 100^c$ (Neuminuten),
$1'$ (Altminute) $= 60''$ (Altsekunden),	1^c (Neuminute) $= 100^{cc}$ (Neusekunden),
$\varrho^0 \doteq 57{,}3^0$,	$\varrho^g \doteq 63{,}6620^g$,
$\varrho' \doteq 3438'$,	$\varrho^c \doteq 6366{,}20^c$,
$\varrho'' \doteq 206\,265''$,	$\varrho^{cc} \doteq 636\,620^{cc}$,
$\log \varrho'' = 5{,}314\,425\,1$,	$\log \varrho^{cc} = 5{,}803\,880\,3$.

Für Abschätzungen:

$$\varrho'' \doteq 2''\,10^5 \qquad \varrho^{cc} \doteq 6{,}4^{cc}\,10^5.$$

Bei sehr vielen praktischen Aufgaben ist die Querverschiebung des Endpunktes einer Strecke von der Länge 1 km bzw. 1 hm (= 1 Hektometer = 100 m) gesucht, wenn diese Strecken um je $1''$ oder 1^{cc} bzw. $1'$ oder 1^c verschwenkt werden. Man findet

1 km$''$ (Kilometer-Altsekunde) $\doteq$ 4,9 mm $\doteq$ 5 mm,
1 km^{cc} (Kilometer-Neusekunde) $\doteq$ 1,6 mm,
1 hm$'$ (Hektometer-Altminute) $\doteq$ 29 mm $\doteq$ 3 cm,
1 hm^c (Hektometer-Neuminute) $\doteq$ 1,6 cm.

Wir erwähnen noch die in Frankreich übliche Bezeichnung von d, `, `` für Neugrade bzw. -minuten, -sekunden, halten aber fest, daß bei allen Messungen und Rechnungen die Winkelniederschrift als

Dezimalbruch praktisch die größten Vorteile bietet, nämlich z. B. $67^{g}\,82^{c}\,63^{cc} = 67{,}826\,3^{g}$.

Zur gegenseitigen Umwandlung der beiden Teilungsarten benützt man entweder die Beziehung

$$S^{0} : C^{g} = 360^{0} : 400^{g},$$

also die Werte:

$$1^{0} = 1{,}\dot{1}^{g}, \qquad 1' = 1{,}85\dot{1}\,8\dot{5}^{c}, \qquad 1'' \doteq 3{,}086^{cc},$$
$$1^{g} = 54', \qquad 1^{c} \doteq 32{,}4'', \qquad 1^{cc} \doteq 0{,}324''$$

oder Umwandlungstabellen, wie sie als Anhang fast zu allen modernen Tafelwerken trigonometrischer Funktionen gegeben sind[10].

Wir nennen schließlich noch die Winkelteilung in Strich ($^{-}$) oder Promille (‰), deren Einheit ursprünglich bestimmt war durch jenen Winkel, unter dem die Längeneinheit auf 1000 Längeneinheiten erscheint, so daß $1^{-} = \varrho : 1000 = 3{,}438'$. Diese Einheit war der Teilung von jenen Skalen zugrunde gelegt, die in Doppelfernrohren [16,54] zum Gebrauch für überschlägige Distanzmessungen vorgesehen sein können. Zufolge des oben angeführten unrunden Winkelwertes ist dieses Strichwinkelmaß zur Teilung des Vollkreises ungeeignet. Man ist daher auf jene nahezu gleich große Winkelmaßeinheit übergegangen, die sich bei der Teilung des Vollkreises in 6400 Neustrich ergibt, unterläßt aber praktisch diese Hervorhebung und versteht unter Strich kurzweg den Winkelbetrag von $\frac{360^{0}}{6400} \doteq 3{,}375' \doteq 3'\,22{,}5''$.

2,2 Längenmaße

Mit österreichisch-ungarischem Reichsgesetz vom 23. Juli 1871 wurde ab 1. Jänner 1876 das bis dahin geltende alte österreichische (Wiener) Längenmaß durch das metrische Maß ersetzt. Für die Benützung der Mappenblätter des österreichischen Katasters 1 : 2880 [II 2] ist die Kenntnis der alten Maßeinheiten und ihrer Beziehungen zum metrischen Maß unerläßlich, nämlich

1^{0} (Wiener Klafter) $= 6'$ (Wiener Fuß) $= 72''$ (Wiener Zoll) $= 864'''$ (Wiener Linien).

$1' = 12''$, $1'' = 12'''$, $4000^{0} = 1$ niederösterreichische Postmeile.

Die Länge eines Meters ist nahezu der vierzigmillionste Teil des Meridians von Paris und auf einem Platin-Iridium-Stab abgetragen, der in Sèvres bei Paris als internationale Prototype[11] aufbewahrt wird. Kopien hievon (nationale Prototypen) dienen den Staaten, die der Meterkonvention beitraten, d. h. das metrische Maß annahmen, zur Eichung der nationalen metrischen Längenmeßmittel.

Aus dem Vergleich der Maßeinheiten ergeben sich die folgenden Beziehungen[9]:

$1^{\circ} = 1{,}896\,484$ m, $1' = 0{,}316\,081$ m, $1'' = 0{,}026\,340$ m, 1 niederösterreichische Postmeile $= 7585{,}936$ m.

$1\ \text{m} = 0{,}527\,291\,6^{\circ} = 3'\,1''\,11{,}58'''$,
$1\ \text{dm} = 0{,}316\,375' = 3''\ 9{,}58'''$,
$1\ \text{cm} = 0{,}031\,637' = 0{,}379\,650'' = 4{,}56'''$.

Anmerkung: Die niederösterreichische Postmeile darf nicht verwechselt werden mit der geographischen Meile bzw. der Seemeile, denn diesen Maßen entsprechen am erwähnten österreichischen Referenzellipsoid von *Bessel,* die folgenden Strecken:
1 (österr.) Geographische Meile = $^1/_{15}$ Äquatorgradbogen = 7420,439 m, 1 (österr.) Seemeile = 1 Äquatorminutenbogen = 1855,110 m. Für die verschiedenen gebräuchlichen Bezugsellipsoide ergeben sich naturgemäß, zufolge des anderswertigen Äquatorhalbmessers, andere Strecken zum Begriff Seemeile, die gegen den obigen Wert bis zu mehreren Metern abweichen.

2,3 Flächenmaße

Die den genannten alten österreichischen Längenmaßen entsprechenden Flächen werden bezeichnet als $\square^{\circ}$ (Kl^2), $\square'$ bzw. $\square''$ (Quadratklafter, -fuß bzw. -zoll). Die Fläche 1 Joch ist durch ein Quadrat von 40 Klaftern Seitenlänge gegeben, so daß 1 Joch 1600 Quadratklafter enthält.

1 Quadratmeile entsteht über einer niederösterreichischen Postmeile und umfaßt daher 10^4 Joch.

Zwischen den metrischen Flächenmaßen von $1\ \text{m}^2$, 1 a (Ar) $= 100\ \text{m}^2$, 1 ha (Hektar) $= 10^4 \text{m}^2$ und den alten Flächenmaßen ergeben sich die folgenden Beziehungen[9]:

$1\ \text{Joch} = 0{,}575\,464$ ha, $\qquad 1\ \text{ha} = 1{,}737\,727$ Joch,
$1\ \square^{\circ} = 3{,}596\,652\ \text{m}^2$,
$1\ \square' = 0{,}099\,907\ \text{m}^2$, $\qquad 1\ \text{m}^2 = 0{,}278\,036\ \square^{\circ}$,
$1\ \square'' = 6{,}938\ \text{cm}^2$.

Für praktische Zwecke merke man, daß 1 Joch recht gut durch ein Quadrat von 100 Schritt Seitenlänge bestimmt ist, während zur Abschreitung der 100 m-Seite eines ha rund 133 Schritte (1 Schritt ≙ 0,75 m) notwendig sind.

2,4 Maßstabs- und Verjüngungsverhältnisse

Der Maßstabsfaktor M eines Verjüngungsverhältnisses $1 : M$ gibt an, daß einer vorliegenden Planstrecke die Mfache Strecke in der Natur entspricht. Eine bestimmte Fläche am Plan $1 : M$ ist hingegen die Abbildung der M^2fachen Fläche in der Natur.

Das Maßstabsverhältnis 1 : 2880 der österreichischen Katastralmappenblätter der Meßtischaufnahme [II 2] kann auch mit 1″ : 40° (1 Zoll zu 40 Klaftern) geschrieben werden, denn durch 1″ am Plan wird die 40°-Seite eines Joches dargestellt, so daß 1 □″ am Plan einem Joch in der Natur entspricht. Mit der Umwandlung von 40° = 40 · 6′ = 240 · 12″ = 2880″ ergibt sich 1″ : 40° = 1 : 2880.

Im doppelten Katastermaßstab 1 : 1440 wurden im allgemeinen die größeren Städte kartiert (Graz im vierfachen Verhältnis 1 : 720), während unproduktive Flächen und größere, zusammenhängende Waldgebiete im allgemeinen im halben Katastermaßstab 1 : 5760 dargestellt sind. Mappenblätter 1 : 5760 entstehen durch Abbildung des Gebietes von je vier Sektionen im Rahmen einer Normalsektion von 25″ × 20″ [II 2][12].

Im Zusammenhang mit dem Katastermaßstab 1 : 2880 wurden die alten österreichischen Generalstabskarten (bzw. Spezialkarten) in den Maßstabsverhältnissen 1 : 288 000 (bzw. 1 : 28 800) herausgegeben, was auch den Maßstäben 1″ : 4000° (1 Zoll : 1 Meile) (bzw. 1″ : 400°) entspricht.

Aus dem Katastermaßstabe 1 : 2500 der numerischen Aufnahme sind die Folgemaßstäbe 1 : 1250 und 1 : 5000 entwickelt, mit gleichen Anwendungsbereichen, wie bei den Folgemaßstäben zum Verhältnis 1 : 2880.

Im Zusammenhang mit dem Verhältnis 1 : 2500 stehen die österreichischen Generalkarten 1 : 200 000, die Spezialkarten 1 : 75 000 und die Karten 1 : 25 000 der alten österreichischen Landesaufnahme[13]. Sie sind wohl weiterhin noch im Gebrauch, werden aber nicht mehr laufend berichtigt, sondern durch moderne Kartenwerke ersetzt. Während des Krieges ist aus dem Kartenwerk 1 : 75 000, nach Ergänzung des Karteninhaltes, durch Vergrößerung ein vorläufiges und behelfsmäßiges Kartenwerk 1 : 50 000 (provisorische Ausgabe) hergestellt worden.

Von dem Katastermaßstab 1 : 2000, zum System der österreichischen winkeltreuen Abbildung [II 2], leiten sich die Folgemaßstäbe 1 : 1000 und 1 : 4000 [12] bzw. 1 : 5000 [14] zu sinngemäßer Verwendung ab.

Das in Entwicklung begriffene modernste österreichische Kartenwerk ist erst in einigen Blättern der sogenannten Österreichischen Karte 1 : 25 000 bzw. 1 : 50 000 verfügbar, u. zw. für Gebiete an der südlichen Staatsgrenze, im Salzkammergut und der Umgebung von Wien. Die Geländedarstellung dieser in jeder Hinsicht mustergültigen Karten ist aus photogrammetrischen Aufnahmen entstanden und gewährleistet eine wirklichkeitsentsprechende und enttäuschungsfreie Bearbeitung von technischen Vorprojekten.

Es ist anzustreben, die Wahl von Maßstabsverhältnissen nur im Rahmen der erwähnten Maßstabsfaktoren zu treffen, d. h. im Zusammenhang mit den verfügbaren Katasterunterlagen und staatlichen Kartenwerken. Hinsichtlich aller weiteren notwendigen Einzelheiten hiezu wird auf [II 2] verwiesen. Die wichtigsten Reproduktions- und Druckverfahren für Zwecke der Karten- und Planherstellung sind in [Abschnitt M] angegeben.

Literaturhinweise zu [1], [2]

1 *Hopfner*, Erdfigur, S. 16; *Hopfner*, H. G., S. 127, S. 152; *Baeschlin*, Geodäsie, S. 411.

2 *Hopfner*, Erdfigur, S. 64; *Hopfner*, H. G., S. 174; *Hopfner*, Geodäsie, S. 303.

3 *Hopfner*, Erdfigur, S. 28; *Hopfner*, H. G., S. 180; *Hopfner*, Geodäsie, S. 333; *Baeschlin*, Geodäsie, S. 443; *Jordan-Eggert*, V. K. III 2, S. 288.

4 *Hopfner*, Erdfigur, S. 15; *Hopfner*, H. G., S. 21; *Baeschlin*, Geodäsie, S. 27; *Jordan-Eggert*, V. K. III 1, S. 238.

5 *Hopfner*, Erdfigur, S. 75; *Hopfner*, H. G., S. 224; *Jordan-Eggert*, V. K. III 1, S. 1.

6 *Jordan-Eggert*, V. K. III 1, S. 239; *Baeschlin*, Geodäsie, S. 29.

6a *Hauer, F.*, Über die Bestimmung der Größe des Vermessungsbereiches der Niederen Geodäsie, Öst. Z. f. V., 1949, Heft 1—3.

7 *Hopfner*, Erdfigur, S. 48.

8 Die astronomisch-geodätischen Arbeiten des k. u. k. Militär-Geographischen Institutes in Wien, Band VII, 1897.

9 *Stampfer-Doležal*, Sechsstellige logarithmisch-trigonometrische Tafeln (Ausgabe für Praktiker), Wien 1904, Gerold Verlag; *Näbauer*, V. K., S. 22—25; *Jordan-Eggert*, V. K. II 1, S. 9—12.

10 *Jordan-Eggert*, V. K. II 1, S. 4—5; *Sust*, Tafeln für die Umwandlung von Winkeln aus alter in neue Teilung und aus neuer in alte Teilung, Stuttgart 1942, Wittwer.

11 *Hartner-Doležal*, N. G. I 1, S. 144 ff.; *Näbauer*, V. K., S. 23; *Jordan-Eggert*, V. K. III 1, S. 78.

12a *Praxmeier*, Der österreichische Grundkataster (Ein Fachprüfungsbehelf), Bundesvermessungsdienst, Wien 1948, S. 4—10.

12b Behelf zur Fachprüfung für den höheren technischen Vermessungsdienst, Österr. Verein für Vermessungswesen, Wien 1949, Heft 5, Teil XVII, S. 4—10.

13 Verlagsverzeichnis des Bundesamtes f. Eich- u. Vermessungswesen (Landesaufnahme), Wien 1949.

14 Die österreichischen Meridianstreifen (Konforme Gaußsche Projektion) Dienstvorschrift Nr. 8, 3. Auflage, Bundesvermessungsdienst, Wien 1949, S. 17.

ABSCHNITT A

Geräte für Auftragungsarbeiten

(Darstellung der Vermessungsergebnisse in Plänen und Karten)

3 Nonius- oder Auftragelineal

Es dient beim Fehlen eines Koordinatographen [6,1] zur Konstruktion der Randlinien von Mappenblättern (Sektionen) und für die Auftragung von Einzelpunkten nach rechtwinkligen Koordinaten. Zumeist ergibt sich bei einem Hauptteilungsintervall von $a = 1$ mm mit einem Nonius [18,21] von der Angabe 0,05 oder 0,02 mm eine etwa gleich große Ablesungsgenauigkeit. Die tatsächliche Messungsgenauigkeit ist indessen durch die Verschwindungsgrenze für Zeichnungen auf Papier beschränkt und beträgt etwa $\pm$ 0,1 mm, mit einer leichten Steigerbarkeit durch Anwendung von optischen Hilfsmitteln.

Die wertvolle Teilung eines Auftragelineals darf nie mit Zirkelspitzen berührt werden, sondern es ist stets die geforderte Strecke mit dem am Lineal gleitenden Schieber abzutragen und nur bei Bedarf vom Papier mit einem Zirkel, Mikrometerzirkel [11,3] oder auch Stangenzirkel [8,1] abzugreifen. Am besten verwendet man für das Abgreifen mit dem Zirkel einen Transversalmaßstab [4], dessen Teilung immer für das Aufsetzen von Zirkelspitzen eingerichtet ist.

4 Verjüngte Maßstäbe, Transversalmaßstäbe, Glasmaßstäbe

Bei allen diesen Geräten fördert eine günstige Figur der Teilung [18,2], d. h. eine günstige Zusammenpassung von Strichlänge, Strichanordnung und Bezifferung, sehr wesentlich die Raschheit des Meßvorganges, dessen Genauigkeit auch hier wieder durch die Verschwindungsgrenze, bei der Arbeit mit freien Augen auf rund 0,1 mm, begrenzt ist bzw. auf die im Maßstabsverhältnis $1 : M$ entsprechende Strecke, nämlich $M \cdot 0{,}1$ mm.

Transversalmaßstäbe verschärfen die Schätzung der Feinablesung mit transversal verlaufenden Hilfslinien entsprechend Abb. 2. Beim Abgreifen zwischen den regelmäßig wachsenden Höhen der ähnlichen Dreiecke kann man noch die Zehntel des Höhenzuwachses schätzen, die bei praktisch konstruierten Maßstäben dem

Betrag der Verschwindungsgrenze entsprechen. In Abb. 3 ist die Entnahme mehrerer Planstrecken angedeutet.

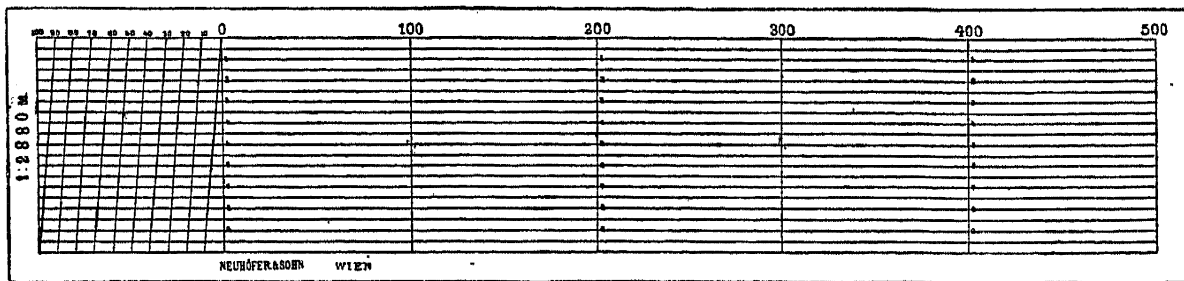



Abb. 2. *(Neuhöfer.)*

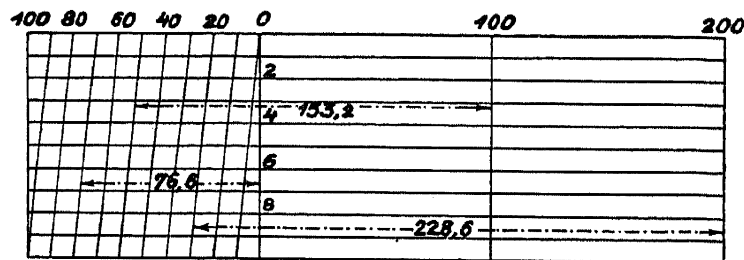



Abb. 3.

Glasmaßstäbe besitzen sehr genaue, meist mikrophotographisch erzeugte Teilungen mit Intervallen bis zu 0,1 mm. Die Teilungsfläche muß am Plan aufliegen, Lupenverwendung [16,1] ist zu empfehlen.

5 Temperatureinfluß auf Planmessungen

Die Maßstabsgleichung $l' = l + \alpha(t' - t)\, l$ gibt an, daß die bei der Eichtemperatur t vorhandene Eichlänge l unter dem Einfluß der Meßtemperatur t' in die Meßlänge l' übergeht. Die zur Herstellung von Maßstäben zumeist verwendeten Materialien sind durch die folgenden Durchschnittswerte ihrer Ausdehnungskoeffizienten α in Einheiten der sechsten Dezimalstelle gekennzeichnet. Holz (Tanne 4, Fichte 6, Eiche und Buche 7), Glas 8, Platin 9, Eisen 11, Bandstahl 12, Neusilber 18, Messing 19.

Das Material Invar[1] (Nickel-Stahllegierung mit dem Verhältnis Ni : Stahl = 36 : 64) [23] besitzt einen sehr kleinen Ausdehnungskoeffizienten, nämlich $\alpha \doteq 5$—$15 \cdot 10^{-7}$. Die bei Temperaturdifferenzen von etwa 10° C eintretenden Längenänderungen von Nivellierlatten mit Teilung auf Invarband [26,5] oder von 20 m-Meßbändern aus Invarstahl [24], kann man daher für gewöhnliche Zwecke vernachlässigen.

Soll z. B. bei $t' - t = +10^0$ C mit einem Noniuslineal aus Messing eine Strecke von genau 1 m aufgetragen werden, so ist ihr Endpunkt mit der Ablesung 999,81 mm abzusetzen, denn der Teilstrich 1000 mm hat vom Nullpunkt den tatsächlichen Abstand von 1000,19 mm, nämlich

$$l' = 1000\ \text{mm} + 19 \cdot 10^{-6}\ (\text{mm}/_{1^0\text{C}}) \cdot 10^0\ \text{C} \cdot 1000\ \text{mm} = 1000{,}19\ \text{mm}.$$

Anmerkung: Bei steigenden Temperaturen ist das Ergebnis einer Streckenmessung stets kleiner, das einer Streckenauftragung stets größer als der wahre Wert, weil das Meßmittel durch den Temperatureinfluß verlängert ist.

6 Geräte zur Auftragung von rechtwinkligen Koordinaten

Bei allen diesen Instrumenten soll vor dem praktischen Gebrauch das tatsächliche Vorhandensein des rechten Winkels überprüft werden, wobei man für dessen Festlegung am besten das gleiche Verfahren anwendet, das bei der Konstruktion der Randlinien einer Kataster-Aufnahmesektion oder eines Plan- oder Kartengitters (Joch- bzw. Hektarnetz) zu empfehlen ist (Abb. 4)[2].

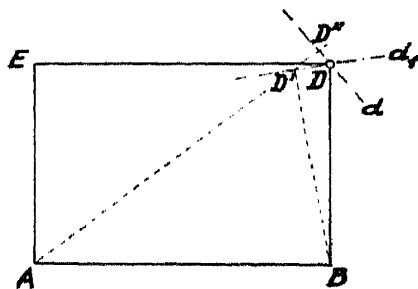



Abb. 4.

Nach Auftragung der gegebenen Länge AB der Sektion [II 2] mit einem geprüften Noniuslineal wird der Sollwinkel 90° nur beiläufig errichtet und die geforderte Höhe $\overline{BD}$ mit dem Noniuslineal durch den längeren feinen Strich d_1 abgeschnitten (Punkt D'). Man trägt nun in der Richtung $\overline{AD}$ die gegebene Länge der Hypotenuse auf (Strich d_2), erhält den Schnittpunkt D und damit den geprüften rechten Winkel ABD. In gleicher Weise ermittelt man den Eckpunkt E. Die Nachmessung von $\overline{DE}$ muß Gleichheit mit $\overline{AB}$ innerhalb der Verschwindungsgrenze bzw. Auftragungsgenauigkeit ergeben. Wenn erforderlich, werden nach Einstechung der Eckpunkte die Gitter-Randmarken mit dem Noniuslineal abgetragen.

Für die rasche Auftragung der Sektionsrechtecke und der Gittermarken dienen sog. Sektionsrahmen aus Metall mit feinen Durchlochungen zur Führung der Pikiernadel beim Durchstechen auf das Zeichenpapier.

6,1 Koordinatograph[3]

Das am Zeichentisch anschraubbare Abszissenlineal A trägt zumeist eine Millimeterteilung und zur Anbringung der fallweise entsprechenden Bezifferung einen Zelluloidstreifen. Das Ordinatenlineal O kann mit Hilfe des auf A gleitenden Abszissenschlittens A_1 mit A geklemmt und feinbewegt werden, bis die Ableseeinrichtung A_2 für Abszissen die gewünschte Ablesung ergibt. Der Ordinatenschlitten trägt die Ableseeinrichtung für Ordinaten sowie den Haltekörper für die Pikiereinrichtung (bzw. Zeichenstift), wird grob geklemmt und fein bewegt, bis die Ablesung den geforderten Ordinatenwert erreicht. Durch Niederdrücken der Pikiereinrichtung legt man den Punkt fest.

Zur Entnahme der Koordinaten von Planpunkten ist die Pikiereinrichtung durch ein gleichachsig-zwangzentriertes Mikroskop zu ersetzen, und nach Feineinstellung auf den betreffenden Punkt sind die Teilungen abzulesen.

Sollen die in der Pikiernadelführung einsetzbaren Zeicheneinrichtungen unmittelbar verwendet werden, dann ist durch ein Bleistiftspitzgerät für stets gleichachsige Spitzenlage Sorge zu tragen.

Vor Inangriffnahme größerer Arbeiten ist auch die strenge Parallelführung des Ordinatenlineals im Auftragebereich mit mehreren gleichmäßig verteilten Rechtwinkelprüfungen zu untersuchen.

In letzter Zeit sind sogenannte Elektro-Koordinatographen[4] konstruiert worden, die als solche unmittelbar oder im Zusammenhang mit photogrammetrischen Auswertegeräten arbeiten und ihre Steuerung über stufenlose elektrische Kontakte erhalten.

6,2 Auftragegerät von *Čemus*

Dieser Detail-Koordinatograph[5] wird in zwei Ausführungen erzeugt, nämlich in der ursprünglichen Form Original *Čemus-Fromme* (Abb. 5 a) und in der Bauart *Čemus-Neuhöfer* (Abb. 5 b). Beiden Ausführungen gemeinsam ist das Abszissenlineal A (Abb. 5 b), auf dem der in beiden Abbildungen dunkel erscheinende Abszissenschlitten grob und fein verschiebbar ist. Er trägt den Abszissennonius, das Ordinatenlineal O mit der federnden Pikiereinrichtung P und den Ordinatennonius.

Die auf den Linealen aufgetragenen Teilungen gelten für drei verschiedene Maßstabsverhältnisse. Für die Bezifferung der Abszissenteilung ist ein verschiebbarer Zelluloidstreifen vorgesehen.

Zur Einstellung der Pikiernadel auf den Ausgangspunkt der Abszissenzählung dient bei *Čemus-Fromme* eine Glaslamelle (Abb. 5 a), bei *Čemus-Neuhöfer* eine Indexmarke auf dem von *Stefek* vorgeschlagenen verschieb- und klemmbaren Arm B. In beiden Fällen ist die Ordinate Null einzustellen und die Längslinie der Lamelle bzw. die durch P und den am Ende des Armes B befindlichen Indexstrich gegebene Richtung über die Polygonseite zu bringen.

Bei *Čemus-Fromme* erfolgt die Einstellung auf den Anfangspunkt der Abszissenzählung mit Hilfe eines Querstriches auf der Glaslamelle, dessen Abstand von dem Pikierstift mit Hilfe des Abszissennonius automatisch berück-

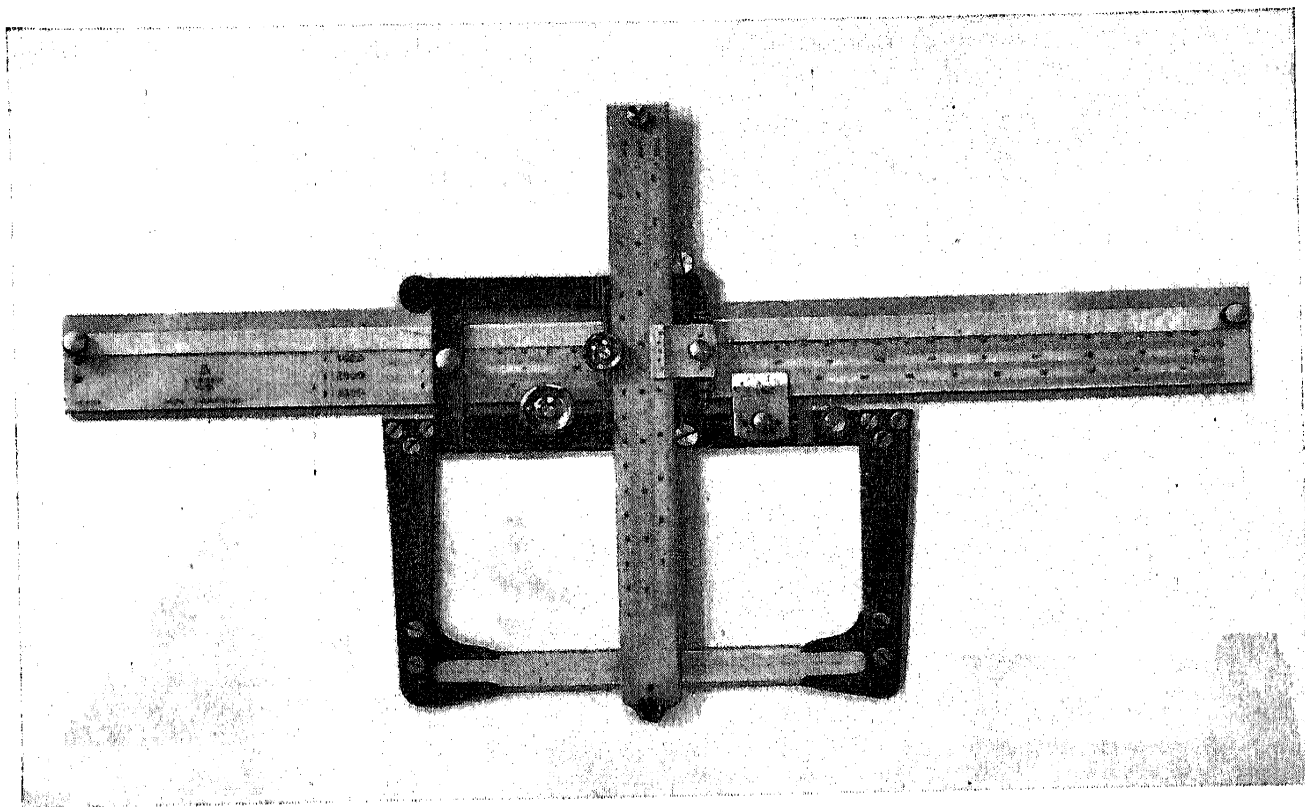



Abb. 5a. Detail-Koordinatograph *Čemus-Fromme.*

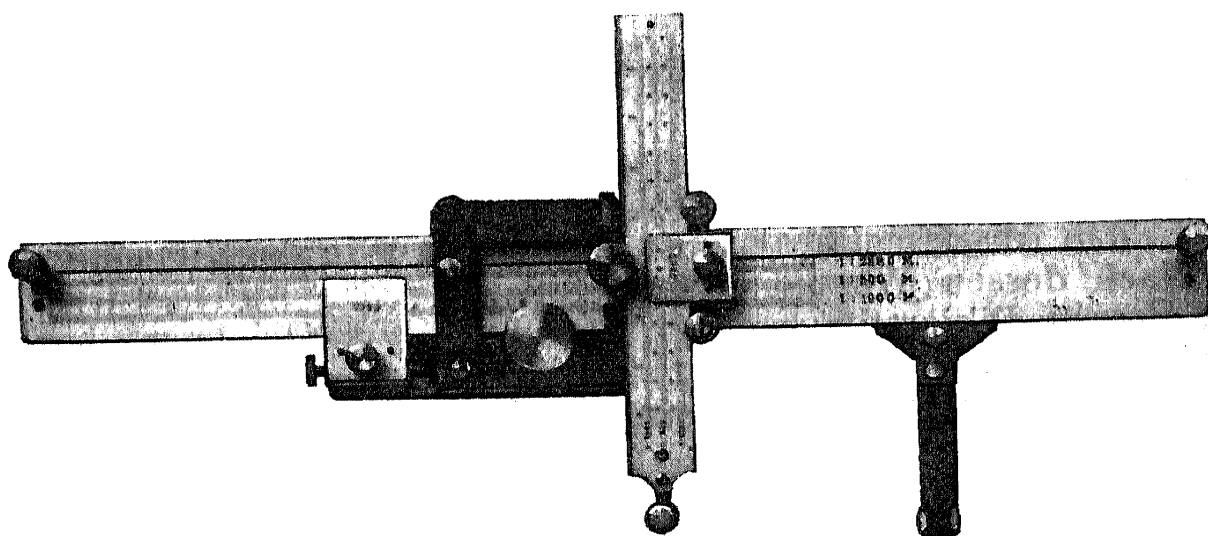



Abb. 5b. Detail-Koordinatograph *Čemus-Neuhöfer.*

sichtigt wird. Bei Einstellung auf die Abszisse Null (Bezifferung am Zelluloidstreifen) befindet sich dann die Pikierspitze genau über dem vorher vom Querstrich gedeckten Anfangspunkt.

Bei *Čemus-Neuhöfer* bringt man die Pikierspitze durch Bewegung des Abszissenschlittens genau auf den Anfangspunkt und stellt hernach den Abszissennonius, mit der in Abb. 5 b seitlich von ihm sichtbaren Schraube, auf einen passenden Strich der Abszissenteilung ein, die schließlich noch am Zelluloidstreifen zu beziffern ist.

Bei der weiteren Auftragung wird nach der Einstellung der rechtwinkligen Koordinaten der Punkt durch Pikierung festgelegt.

6,3 Auftragegerät von *Vrence-Rost*

Das Abszissenlineal wird mit Hilfe des in der Abb. 6 oberhalb sichtbaren, in einem Metallrahmen gefaßten Glaslineals in die meßbereite Stellung gebracht.

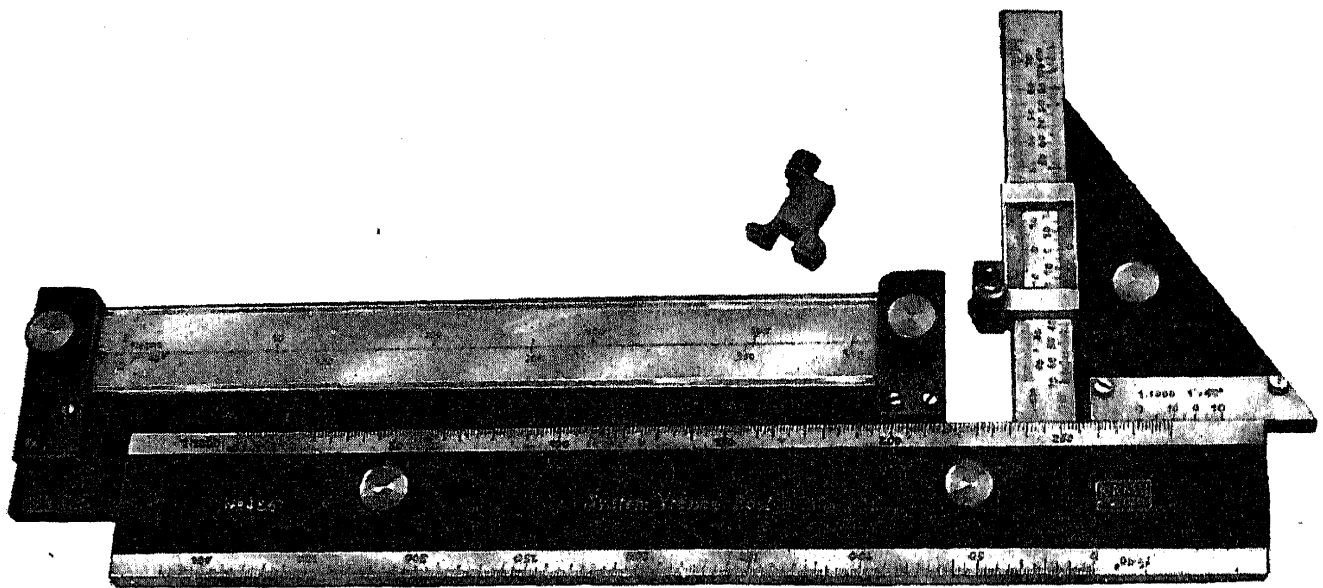



Abb. 6. Auftragegerät *Vrence-Rost*.

Hiezu legt man das Glaslineal mit Quermarke bzw. Längsstrich an den Anfangspunkt bzw. die Richtung der Abszissenachse und schiebt das Abszissenlineal zu sattem Anschlag in den Linealrahmen.

Nach dessen Wegnahme und Anlegung des Auftragedreieckes liegt dessen Pikierstift bei der Einstellung $y = O$ immer über der Abszissenachse. Für Koordinatenentnahme aus einem Plan ist der Pikierstift gegen eine Lupe mit gleichachsiger Einstellmarke vertauschbar.

6,4 Auftrage- (Abschiebe-) Gerät von *Engel*[6]

An einem Lineal (Abb. 7) mit Abszissen- (A) und Ordinaten- (C) Teilung gleitet die Hypotenuse eines 30°-60°-90°-Dreieckes mit dem zugehörigen Abszissen- bzw. Ordinatennonius. Die längere Kathete trägt auf abgeschrägter Zeichenkante eine Strichmarke.

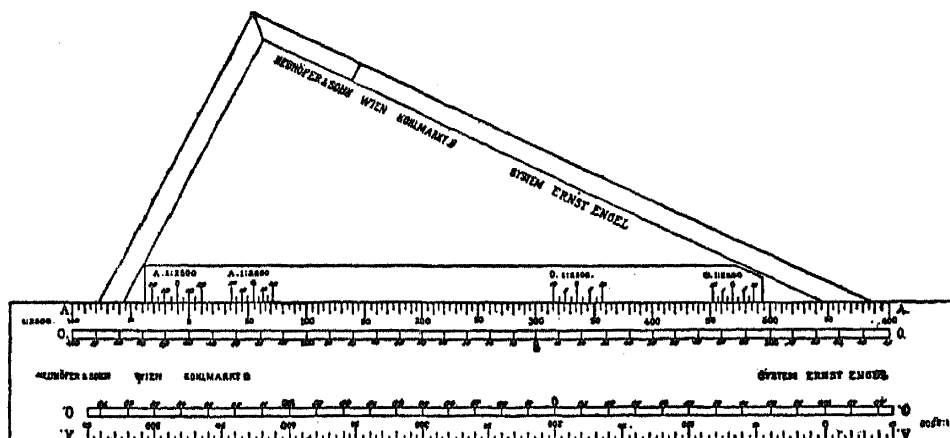



Abb. 7. Auftragegerät *Engel. (Neuhöfer.)*

H a n d h a b u n g: Längere Kathete in die Auftragerichtung bringen, Strichmarke auf den Anfangspunkt einstellen. Lineal an die Hypotenuse so anlegen, daß Ordinatennonius die Ablesung Null gibt. Schiebt man nun das Dreieck so weit, bis sich am Abszissennonius die Ablesung Null ergibt, dann geht die kürzere Kathete durch den vorhin eingestellten Ausgangspunkt. Abszissen werden an der kürzeren, die Ordinaten mit der längeren Kathete abgeschnitten.

Der ähnlich arbeitende Auftrageapparat von D e m m e r besteht aus einem Lineal und zwei Abschiebedreiecken mit Nonien.

6,5 Abschiebedreiecke

Die einfachste und zweckdienlichste Form sind zwei gleichschenkelig rechtwinklige Dreiecke (Abb. 8), deren eines das vorhin unter [6,4] beschriebene Lineal ersetzt und eine einzige Teilung trägt. Das andere Schiebedreieck wird mit einer x-Kathete in die Abszissen-

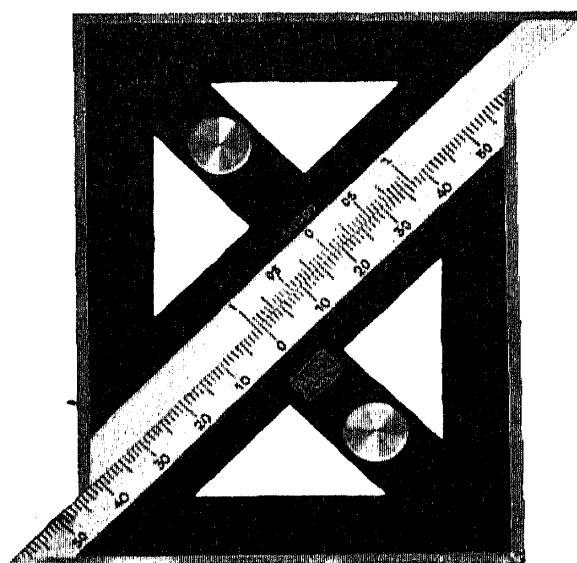



Abb. 8. *(Rost.)*

richtung so gelegt, daß die zweite y-Kathete auf den Ausgangspunkt zeigt. Man verschiebt nun dieses Dreieck, bis die Ablesung an seinem Nonius den gewünschten Abszissenwert angibt, zeichnet entlang der y-Kathete die Ordinatenrichtung und schneidet auf ihr, nach Einstellung des Ordinatenwertes, entlang der x-Kathete den gesuchten Punkt ab.

Abschiebedreiecke anderer Form (z. B. 30°-60°-90°) erfordern zwei verschiedene Teilungen für Abszissen bzw. Ordinaten. Die Arbeit mit ihnen vollzieht sich dann im Wesen so wie beim Auftragegerät von Engel.

7 Geräte zur Auftragung von Richtungen, Winkeln und Polarkoordinaten

Neben den für Richtungs- und Polarkoordinatenauftragung nur bei geringen Genauigkeitsansprüchen tauglichen einfachen Halb- oder Vollkreistransporteuren (Kartenwinkelmesser) aus verschiedenem Material, gibt es zahlreiche Formen von Geräten für genauere Arbeiten, wie z. B. Vollkreise, mit festliegender Teilung und dreh-

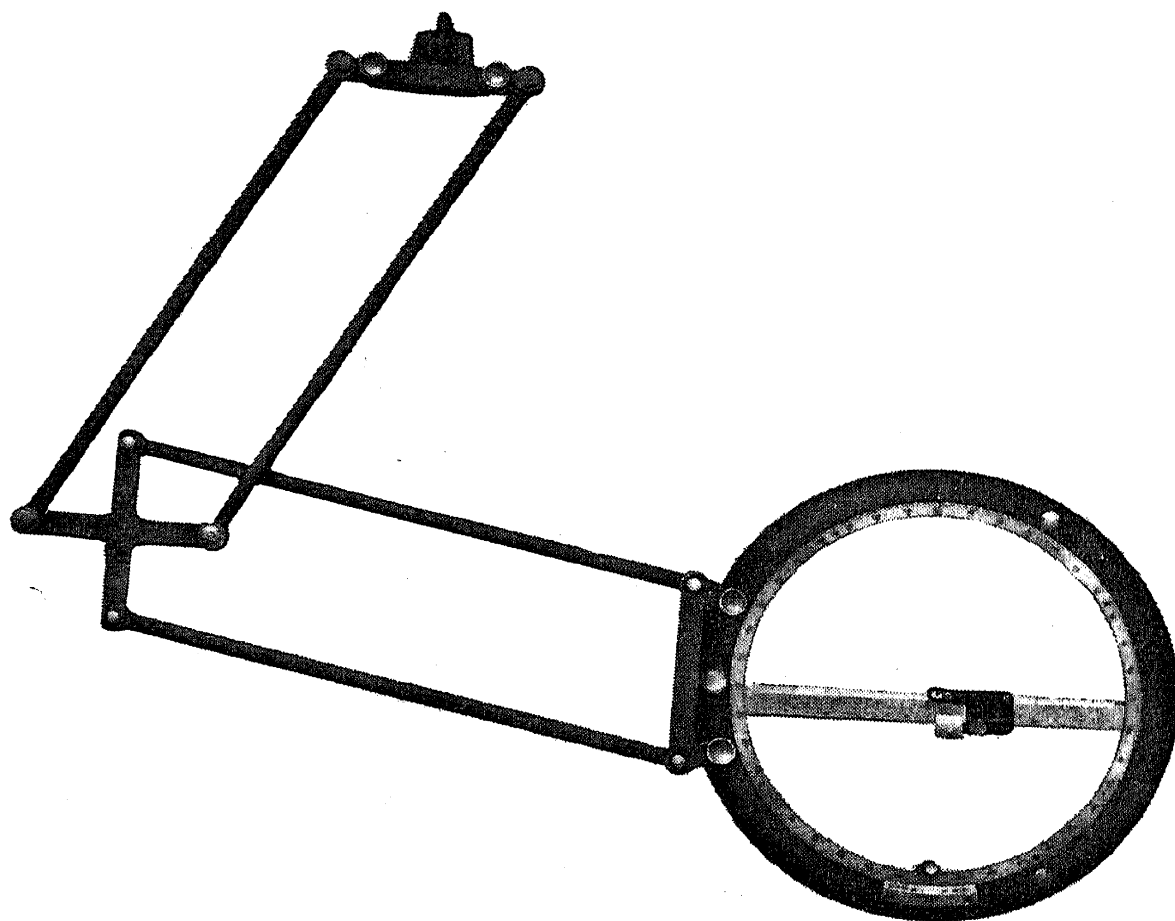



Abb. 9. Auftrageapparat mit Parallelverschieber von *Fromme*.

barem Durchmesserlineal, über dessen Distanzteilung unter Umständen eine Pikiereinrichtung verschiebbar ist.

Sogenannte Tachygraphen[7] (z. B. von *Schlesinger, Riebel, Friedrich* usw.) sind in Verbindung mit einem Koordinatographen konstruiert, durch dessen Einstellung auf bestimmte Koordinaten vorerst der Kreismittelpunkt in den Standpunkt verlegt wird, von dem aus die Richtungen aufzutragen sind.

Die für eine rasche Auftragung von Theodolit- und Bussolenpolygonzügen [22,32] wünschenswerte dauernde Parallelführung des O^0-Durchmessers erreicht man durch Anklemmung des Kreises an die Führungsparallelogramme eines Parallelverschiebers. (Patent Fromme, Abb. 9).

Rolltransporteure bzw. Polarkoordinatographen[8] mit Rolltransporteur besitzen eine Meßrolle, die mit einer Umdrehung eine Schwenkung des Fahrarmes MF um φ^0 erzeugt (Abb. 10). Es ist dann $2\,r\,\pi = \frac{a\,\varphi^0}{\varrho^0}$, $a : r = \frac{2\,\pi\,\varrho^0}{\varphi^0}$ und mit $\varrho^0 = \frac{180^0}{\pi}$ erhält man $a : r = 360^0 : \varphi^0$. Wird z. B. gewählt $\varphi = 20^0$, so muß sein $a = 18\,r$. Vielfache von φ gibt ein Zählrad an, während der Winkelrest $< \varphi$ mit einem Nonius von meist $2'$ Angabe an der Teilung des Rollenumfanges abzulesen ist.

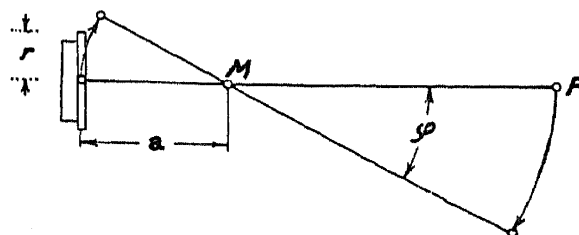



Abb. 10.

In Einzelfällen können Richtungen bzw. Winkel φ auch mit Hilfe des Wertes von $\operatorname{tg}\varphi$ festgelegt werden, indem man die anliegende Kathete als Längeneinheit aufträgt und als gegenüberliegende Kathete den Betrag $\operatorname{tg}\varphi$ (ausgedrückt in der gewählten Längeneinheit) ansetzt. Prüfung der Auftragung durch Nachmessung der Hypotenusenlänge = Längeneinheit : $\cos\varphi$.

8 Geräte für Übertragung und Umzeichnung

8,1 Stangenzirkel

Sie bestehen aus einem Lineal und zwei aufklemmbaren Trägern von Zirkelspitzen, deren eine auch mikrometrisch verstellbar ist, und werden zum oftmaligen Abtragen von größeren Strecken

sowie, nach Auswechslung gegen Bleistift oder Reißfeder, zum Zeichnen größerer Kreise verwendet.

8,2 Reduktionszirkel

Den Reduktionszirkel[9] gebraucht man zur mechanischen Vergrößerung bzw. Verkleinerung von kleinen Figuren mit nur wenigen Punkten und Strecken in ein anderes Maßstabsverhältnis. Die beiden Zirkelschenkel (Abb. 11) sind durch ein verschieb- und klemmbares

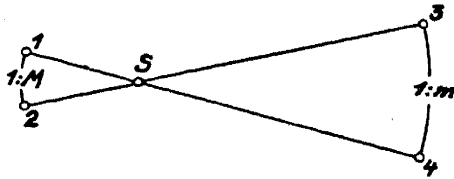



Abb. 11.

Scharnier so verbunden, daß dessen Einstellung auf angegebene Schenkelmarken $M:m$ die entsprechenden Zirkelspitzenabstände 1—2 bzw. 3—4 in das gewünschte Verhältnis bringt.

8,3 Der Pantograph

Dieses auch als Storchschnabel bezeichnete Gerät (Abbildung 12) dient zur Umzeichnung von Plänen und Karten in meist kleinere, unter Umständen auch größere Maßstabsverhältnisse[10].

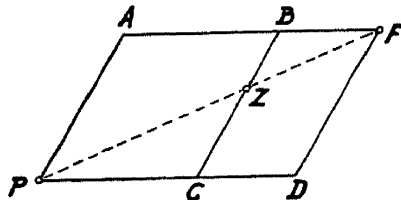



Abb. 12.

Im Parallelogramm mit den Gelenken $P\ A\ F\ D$ dient der parallel PA verschiebbare Querstab BC als Träger des Zeichenstiftes bzw. der Pikiereinrichtung Z. Liegt Z in der Richtung vom Pol P zum Fahrstift F, dann wird dessen Weg durch Z verkleinert abgebildet, u. zw. im Verhältnis $AF:AB = CB:CZ = PF:PZ$. Bei Vertauschung von Z und F tritt Vergrößerung im reziproken Verhältnis ein. Die Stäbe AF, PD und CB tragen gleiche Teilungen und zusätzliche Einstellmarken für einfache oder praktisch öfter vorkommende Umzeichnungsverhältnisse, wie z. B. 1 : 2, 1 : 3, 2880 : 10 000 usw. Beim sog. freischwebenden oder Hängepantographen führen vom Ständer des Polgewichtes in P Abspanndrähte nach A und D, wodurch man bei waagrechter Zeichenfläche eine fast reibungslose Bewegung des Gerätes während der Arbeit erzielt. Durch eine Auslösevorrichtung bei F kann mit einem über B nach Z führenden Faden der beschwerte Zeichenstift Z von der Papierfläche abgehoben bzw. wieder aufgesetzt werden.

Vor Beginn der Arbeit ist die maßstabtreue Übertragung durch Nachmessung von mehreren entsprechenden Strecken zu überprüfen.

Literaturhinweise zu Abschnitt A [3]—[8]

1a *Benoit-Guillaume,* La mesure rapide des bases géodésiques, Paris 1917, Gauthier-Villars.
1b *Tardi,* Géodésie I, S. 90—92.
2 *Hartner-Doležal,* N. G. I 1, S. 576.
3 a. a. O. 2, S. 584, 587; *Jordan-Eggert,* V. K. II 1, S. 97.
4 *Boaga, G.,* Gli elettrocoordinatografi „Nistri" in Tecnica Italiana, Rivista d'Ingegneria e Scienze, Trieste 1948, Nr. 6.
5 *Jordan-Eggert,* V. K. II 1, S. 99.
6 a. a. O. 2, S. 583.
7 a. a. O. 2, S. 596, 598.
8 a. a. O. 2, S. 593; a. a. O. 5, S. 102.
9 a. a. O. 2, S. 603.
10 a. a. O. 2, S. 605; a. a. O. 5, S. 105; *Näbauer,* V. K., S. 338.

ABSCHNITT B

Rechengeräte, Rechenmaschinen

Die große Zahl und Vielfältigkeit der in diesen Abschnitt fallenden Geräte, im Verein mit dem Umstand, daß wenigstens eine oberflächliche Kenntnis ihres Aufbaues, ihrer Wirkungsweise und ihrer Verwendung vorausgesetzt werden darf, veranlaßt es, daß hier nur die wichtigsten Merkmale schlagwortartig genannt werden.

9 Rechenschieber

Sie dienen zur graphisch-mechanischen Deutung logarithmischer Rechnungen mit mindestens zwei gleichartigen Teilungen, die durch Abtragung der Zahlenlogarithmen im Maße der logarithmischen Einheit entstehen[1]. Die Bezifferung entspricht der Zahl (Numerus) und eine zweckentsprechende Strichlänge (Figur) der Unterteilung er-

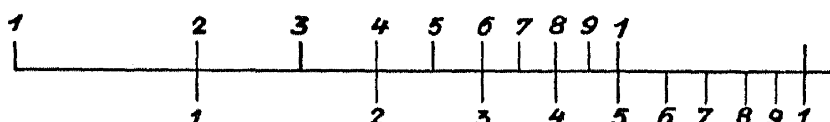



Abb. 13.

leichtert die Einstellung von Zwischenwerten. Die Abb. 13 zeigt oben die Hauptteilung, darunter die Schieberteilung in der Stellung für die Bildung des Produktes $2 \cdot K = R$, nämlich $\log 2 + \log K = \log R$ (z. B. $K = 3$, $R = 6$) bzw. des Quotienten $R : K = 2$, nämlich $\log R - \log K = \log 2$.

Verschärfung der Einstellung bzw. Ablesung durch Läufer mit Strichmarke. Erweiterung der Rechenoperationen durch zusätzliche Teilungen für Quadrierung, Kubierung, Reziprokwerte usw. bzw. für die trigonometrischen Funktionen auf der Schieberrückseite. Bei gebräuchlicher Länge von 25 cm für die logarithmische Einheit erhält man eine Rechengenauigkeit von etwa 1—2‰, was ungefähr der Rechnung mit 4stelligen Tafeln entspricht.

Spezial-Rechenschieber zur Auswertung bestimmter Formeln und Formelgruppen, wie etwa tachymetrischer Rechenschieber zur Berechnung von Distanz und Höhenunterschied nach *Reichenbach* [25,221][2].

Kreisrechenschieber von *Riebel*[3] mit kreisförmiger Anordnung der Teilungen Numerus, Sinus, Cosinus für Berechnung der Seitenprojektionen bzw. auch $\frac{1}{2} \sin 2\alpha$ und $\cos^2 \alpha$ für tachymetrische Distanz- und Höhenmessung [25,22]. Große logarithmische Einheit (Kreisumfang) erhöht die Genauigkeit der Rechnung beträchtlich (gleichwertig 5stelliger, unter Umständen auch 6stelliger Tafelrechnung).

10 Rechenmaschinen

Die ursprüngliche Form der Staffelwalzenmaschine[4] von *Leibniz* (1673), *Hahn* (1778), *Thomas* (1820), *Burkhardt* (1879) mit gleichgerichteter Kurbeldrehung besaß Wechselgetriebe zur Umschaltung von Addition (Multiplikation) auf Subtraktion (Division). Die neuere Form der Sprossenradmaschine von *Odhner* (1878), *Grimme, Natalis u. Co.* (1892) (*Brunsviga*-Maschinen) arbeitet mit rechtsläufiger Kurbeldrehung für Addition (Multiplikation) und linksläufiger Kurbeldrehung für Subtraktion (Division) mit automatischer Zehnerübertragung in allen Werken. Neueste Form: Proportionalhebel-Zahnstangen-Maschinen Mercedes-Euklid[5] von *Hamann* (1900) mit Tasteneinstellwerk, *Hamann*-Manus[6] (1928), *Hamann*-Selekta (1928), *Hamann*-Selekta (1930) mit elektrischem Antrieb, automatischer Rechnung bei abgekürzter Multiplikation. Die Multiplikationsmaschine Millionär von *Steiger-Egli* (Zürich, 1939) löst mit nur einer einzigen Kurbeldrehung jede beliebige Multiplikation.

Einen ganz neuen Typus von Rechenmaschinen, der während des zweiten Weltkrieges zu größter Vollkommenheit entwickelt wurde, stellt die amerikanische mit Elektronenröhren betriebene Rechenmaschine *ENIAC* dar. Sie dient zur Ausführung von Rechenoperationen, die mit gewöhnlichen Rechenmaschinen von der bisher betrachteten Bauart und Wirkungsweise nicht mehr bewältigt werden können. Diese Maschine entstand an der *Moore*-Schule für Elektroingenieurwesen der Universität *Pennsylvania* zur Lösung von Aufgaben des ballisti-

schen Forschungsinstitutes in *Aberdeen-Maryland*, arbeitet mit größter Geschwindigkeit unter Benützung von 18000 Röhren und verbraucht eine Energie von 150 kW.[7]

Typischer Aufbau von neueren Maschinen (Abb. 14). Einstellwerk E, Kurbel K mit Federrast r, Umdrehungszählwerk U, Resultatwerk R, Löscheinrichtung für jedes Werk durch Flügelschrauben L mit Rast (oder modernem Löschhebel). Volle Bewegung des Schlittens zu U und R bei Niederdrücken der Sperrfeder F, einstellige, beidseitige Fortbewegung des Schlittens durch Tasterdruck bei Tl bzw. Tr.

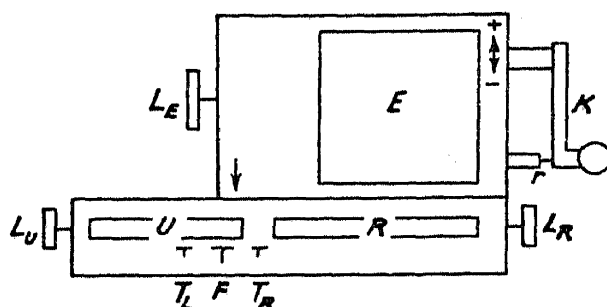



Abb. 14.

Doppelmaschinen (*Brunsviga*-Doppel, *Thales*-Geo) mit einer Antriebskurbel und einem U-Werk für zwei gekoppelte, auf Gleichlauf $(+\,+, -\,-)$ oder Gegenlauf $((+\,-, -\,+)$ einstellbare E-Werke, zur gleichzeitigen vorzeichenrichtigen Ausrechnung der Produkte $a \cdot b$ bzw. $a \cdot c$ (bei Koordinatentransformation, Seitenprojektionen [II 3]).

Anmerkung: Bei neuesten Maschinen befindet sich R oberhalb von E und die in E mit Hebeln eingestellte Zahl erscheint außerdem in Ziffern.

Handhabung neuerer Maschinen.

Bei Hemmungen keine Gewaltanwendung, sondern: Kurbel K und alle Löschwerke L einrasten lassen.

Multiplikation $A \cdot B = C$. Zahl A in E ganz rechts einstellen, S ganz links schieben, B mit K einkurbeln bei zifferweiser Verschiebung von S mit Tr. C erscheint in R.

Division $C : A = B$.

Direkte Division (durch Subtraktion). Zahl C in E ganz links einstellen und mit einer Plusdrehung der Kurbel in R ganz links einkurbeln. Löschung der Ziffer 1 in U. Zahl A in E ganz rechts einstellen, S so weit rechts schieben, daß höchstwertige Ziffer von A über höchst- oder nächstwertiger Ziffer von C in R steht. Durch

dauernde Minusdrehung der Kurbel, bei stellenweiser Verschiebung von *S* mit *Tl*, Zahl *C* fortlaufend verringern. B erscheint (rot) in *U*, etwaiger Rest in *R*.

Indirekte Division (durch Addition). Zahl *A* in *E* ganz rechts einstellen und durch fortlaufende Plusdrehung der Kurbel, bei stellenweiser Verschiebung von *S*, den Betrag von *C* in *R* erzeugen. Quotient *B* erscheint (weiß) in *U*.

Abgekürzte Rechnung (ist für praktische und zeitsparende Arbeit empfehlenswert, aber nur vorteilhaft bei Maschinen mit automatischer Zehnerübertragung):

1. durch Vermeidung der direkten Einkurbelung aller Ziffern größer als 5, wodurch Ersparung an Kurbelzeit eintritt;

2. um bei kleinen, nur wenigstelligen Maschinen dennoch die erforderlichen Ziffern zu entwickeln.

Zu 1. Grundsätzlich wird immer jener Faktor eingekurbelt, der die kleinere Ziffernsumme besitzt. Zur Multiplikation einer Zahl mit dem Faktor 7693 sind bei gewöhnlicher Multiplikation und voller Einkurbelung 25 Umdrehungen notwendig. Für abgekürzte Multiplikation kurbelt man wie folgt: 8 Plusdrehungen geben 8000, Schlittenverschiebung; 3 Minusdrehungen erzeugen 7700, Schlittenverschiebung; 1 Minusdrehung erzeugt 7690, Schlittenverschiebung; 3 Plusdrehungen ergeben schließlich 7693. Anzahl der Drehungen überhaupt: 15, Ersparnis: 10 Drehungen oder 40% an Kurbelzeit.

Zu 2. Verfügt man z. B. über eine nur wenigstellige Maschine, z. B. *Brunsviga 10* mit den Stellenzahlen 6 × 5 × 10 für *E*, *U*, *R*, hat aber eine 6stellige mit einer 7stelligen Zahl zu multiplizieren, wobei 10 Ziffern des Resultates genügen, dann arbeitet man zuerst wie gewöhnlich und setzt, nach Erschöpfung des *U*-Werkes, mit den bekannten Regeln der abgekürzten Multiplikation mechanisch fort durch Abkürzung (d. h. Stellenabzug) des Multiplikators in *E*.

Ist z. B. zu multiplizieren 856 984 × 2 511 273, so ergibt sich im besten Fall (d. h. schon bei Beachtung der ausfallenden ersten Ziffer 2 des Produktes) nach Einkurbelung von 25 112 im Resultatwerk 1 520 582 208. Man löscht nun 25 112 im Umdrehungszählwerk und verschiebt die Ziffern des Einstellwerkes um eine Stelle nach rechts, also auf 85 698, Multiplikation mit 7 gibt in *R* 1 521 182 094. Nach Löschung der Ziffer 7 in *U* wird in *E* um eine Stelle nach rechts geschoben, d. h. mit entsprechender Abrundung auf 8570. Multiplikation mit 3 gibt vorerst 1 521 207 804 als Ziffernfolge, und nach Vorsetzung der an der Spitze nicht mehr angezeigten Ziffer 2 erhält man als Resultat das Produkt 21 521 207 804.

Sonderaufgaben:

Sehr viele praktisch häufig vorkommende Aufgaben, wie z. B. die Koordinatentransformation, Koordinatenberechnung der Polygon- oder Detailpunkte sind zeitsparend bei Beachtung bestimmter vorteilhafter Formeln und Rechenregeln, insbesondere bei Anwendung von Doppelrechenmaschinen zu erledigen. Da es im gegebenen Rahmen nicht möglich ist, hierauf einzugehen, wird man in solchen Fällen die Gebrauchsanweisung für die betreffende Maschine zu Rate ziehen.

Die bei Ausgleichungs- und Flächenrechnung oft geforderte vielstellige Quadratwurzel aus einer Zahl M^2 kann mit Benutzung einer Rechenmaschine recht rasch bestimmt werden, nämlich

1. durch allmähliche Annäherung, 2. durch Auflösung als Reihensumme.

Zu 1. $M^2 = M_0 \cdot M_1$. Wahl von M_0 (möglichst nahe $\sqrt{M^2}$), Division $M^2 : M_0 = M_1$, Bildung von $M_2 = (M_0 + M_1) : 2$; Division $M^2 : M_2 = M_3$, Bildung von $M_4 = (M_2 + M_3) : 2$ usw. bis mit gewünschter Übereinstimmung $M_i = M_{i+1}$. Da diese Konvergenz um so rascher eintritt, je genauer M_0 gewählt wurde, ist es zu empfehlen, diesen Ausgangswert sogleich einer Tafel der Zahlenquadrate zu entnehmen.

2. Die Quadrate der ganzen Zahlen M sind gleich der Summe von M Gliedern der ungeraden Zahlenreihe, nämlich $M = 2$, $M^2 = 4 = 1 + 3$; $M = 3$, $M^2 = 9 = 1 + 3 + 5$ usw.

Vorgang: Man übertrage M^2 in R, teile ab in Ziffernpaare und stelle in E die Zahl 1 über das vorderste Ziffernpaar. Man ziehe diese 1 ab, stelle 3 ein, ziehe ab, stelle 5 ein, ziehe ab usw., bis der Rest kleiner ist als die zuletzt abgezogene Zahl. Man vermehre diese Zahl um eine Einheit, füge rechts die Zahl 1 an und schiebe den Schlitten um eine Stelle nach links. Man zieht die eingestellte Zahl ab, stellt den letzten Einser auf 3, zieht ab und wiederholt den obigen Vorgang, bis die im Resultatwerk erscheinende Quadratwurzel hinsichtlich der Zifferzahl befriedigt.

Beispiel: Gesucht ist die Quadratwurzel aus 625.

$M^2 = 625$ in R einstellen, 1 in E über 6 von 625 einstellen und abziehen, U zeigt 1 und R den Rest 525. Man verändert 1 in 3 und zieht ab, so daß U die Ziffer 2 und R den Rest 225 zeigt. Da nun 2 kleiner ist als der in E darüberstehende Dreier, wird dieser auf 4 gestellt und ein Einser angefügt. Man rückt den Schlitten um eine Stelle nach links, so daß sich die Stellung $\genfrac{}{}{0pt}{}{41}{225}$ ergibt. Nach Abziehen zeigt U die Zahl 21 und aus 225 ist der Rest 184 entstanden. Man verwandelt 41 in 43, zieht ab und findet in U die Zahl 22, in R den Rest 141 und arbeitet nun nach folgendem Schema weiter.

3 von 43 auf 5 stellen gibt die Stellung $\genfrac{}{}{0pt}{}{45}{141}$; Abziehen, $U = 23$, $R = 096$,

5 von 45 auf 7 stellen gibt die Stellung $\genfrac{}{}{0pt}{}{47}{096}$; Abziehen, $U = 24$, $R = 049$,

7 von 47 auf 9 stellen gibt die Stellung $\genfrac{}{}{0pt}{}{49}{049}$; Abziehen, $U = 25$, $R = 000$,

daher $M = 25$.

In einem eintretenden Fall würde man von dem letzteingestellten Neuner auf den Elfer übergehen, also z. B. von 49 auf 51 und so weiter fortrechnen, bis wieder die Zahl in E von dem in R befindlichen Rest nicht mehr abziehbar ist. Hat man dabei etwa die folgende Stellung erhalten (wie sie bei Berechnung der Quadratwurzel aus der Zahl 43654 eintritt):

$$\genfrac{}{}{0pt}{}{4177}{1479} \text{ mit } U = 2089,$$

so wäre beim Übergang auf 4179 diese Zahl in der darunterstehenden 1479 nicht mehr enthalten. Man ändert daher 4177 ab in 41781, erhält nach der Verschiebung des Schlittens die Stellung

$$\begin{matrix} 41781 \text{ mit } U = 2089 \\ 1479 \phantom{\text{ mit } U = 2089} \end{matrix}$$

und schließlich, nach fortlaufendem Abziehen von 41781, 41783, 41785 die Stellung

$$\begin{matrix} 41785 \\ 22551 \end{matrix} \text{ mit } U = 20893.$$

Die Zahl 208,93 würde damit die (bis auf zwei Stellen berechnete) Quadratwurzel aus 43654 angeben.

An dieser Stelle ist ein von den österreichischen Ingenieuren *Avanzini* und *Bohrn* entwickeltes Gerät Coorapid (Abb. 14 a) zu erwähnen, das zur mechanischen Lösung aller Aufgaben dient, die mit der Umwandlung von Polarkoordinaten in rechtwinklige und umgekehrt [II 3] zusammenhängen. Diese Maschine wird von *R. & A. Rost* in Wien hergestellt[8].

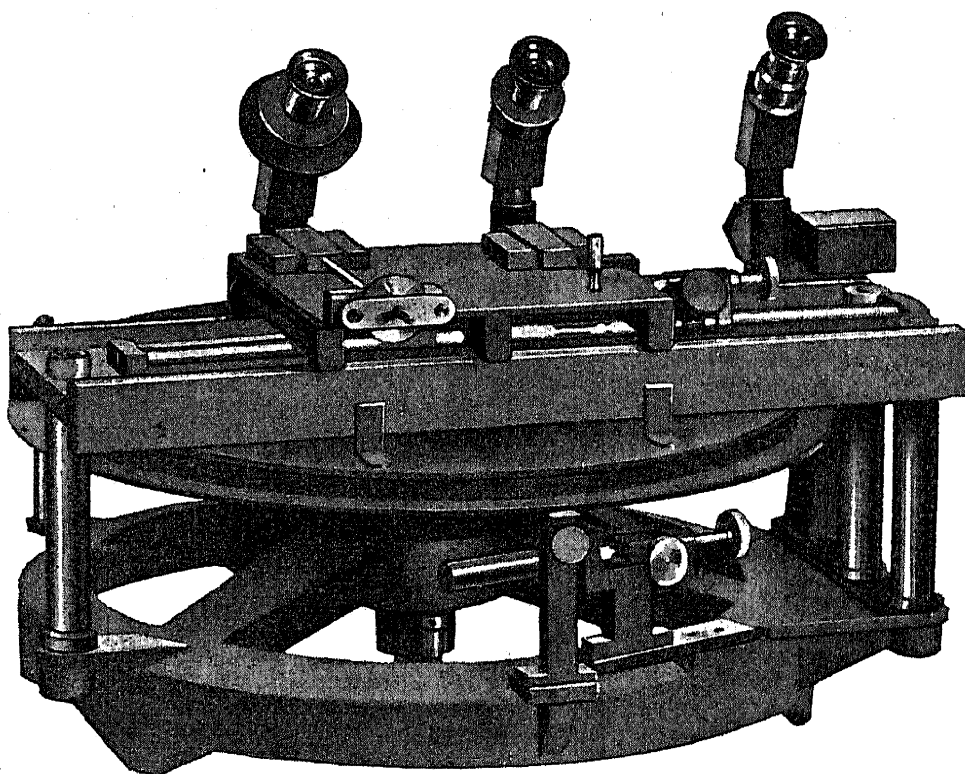



Abb. 14a. Rechenmaschine Coorapid. *(Rost.)*

Unter dem in der Abbildung erkennbaren Verdeck ist eine kreisförmige Glasplatte verdrehbar, die am Rand eine Kreisteilung trägt und im Inneren ein Zentimeter-Quadratgitter, dessen Ecken fortlaufend mit den auf den Kreismittelpunkt bezogenen Koordinaten samt Vorzeichen beziffert sind. Stellt man unter dem rechten Mikroskop den Richtungswinkel t_{AE} vom Standpunkt A zum Ziel E ein und verschiebt das mittlere Mikroskop auf die Entfernung $\overline{AE} = s$, so sind die Koordinatenunterschiede $\Delta y = s \sin t_{AE}$ und $\Delta x = s \cos t_{AE}$ mit dem linken Mikroskop in dem Gitter ablesbar. Im Gesichtsfeld dieses Mikroskopes befindet sich zur Ablesung innerhalb eines Gitterquadrates ein Planzeiger, dessen Teilungen mit Hilfe des unter dem Mikroskopokular sichtbaren Ringes in die Richtung der Gitterlinien zu schwenken sind.

Durch sinngemäße Abwandlung dieser drei Grundeinstellungen ergeben sich mechanisch, rasch, sicher und sehr genau die Lösungen bzw. die Umkehrung der einfachen Vektoroperationen, aber auch die Transformation rechtwinkliger

Koordinaten in ein anderes System (Detailpunkt-Rechnung), Dreiecksrechnung (sin- und cos-Satz), Proportionalteilung, Distanz- und Höhenrechnung nach *Reichenbach* [25,221], Höhenunterschied $h = s$ tg t, Vorwärts- und Rückwärtseinschneiden u. a. m.

Das Gerät *Coorapid* sichert die lineare Genauigkeit $\pm$ 0,01 mm, also im Maßstabsverhältnis 1 : 1000 eine Koordinatengenauigkeit von $\pm$ 1 cm, bei einer durchschnittlichen Stundenleistung von 120—150 Punkten.

Ein im Grundzug ähnliches, jedoch wesentlich ungenauer arbeitendes Instrument für die mechanische Lösung der einfachen Vektoroperationen war der nach den Angaben von Oberst *K. Friedrich* bei Gebrüder *Haff*, Pfronten im Allgäu konstruierte Vektator[9].

Literaturhinweise zu Abschnitt B [9], [10]

1a *Hartner-Doležal,* N. G. I 1, S. 113.
1b *Jordan-Eggert,* V. K. II 1, § 29.
2a *Hartner-Doležal,* N. G. II, S. 397.
2b a. a. O. 1 b, S. 273.
3 a. a. O. 2 a, S. 398.
4a *Koll-Eggert,* Geodätische Rechnungen mittels der Rechenmaschine, Stuttgart 1927, Wittwer, § 2 ff.
4b a. a. O. 1 a, S. 105 ff.
4c a. a. O. 1 b, § 30 ff.
5 a. a. O. 4 a, S. 26.
6 a. a. O. 1 b, S. 133.
7 *Hartree,* Calculating Machines, Cambridge, University Press 1947; Referat in Schweiz. Z. f. V. 1947, S. 119 (*Baeschlin*).
8 *Rinner, K.*, Wirtschaftliches Koordinatenrechnen, in Schweiz. Z. f. V. 1949, S. 247; *Bohrn,* Mechanische Koordinatenrechnung, in Öst. Z. f. V. 1949, S. 123.
9 *Friedrich, K.*, Neue Grundlagen und Anwendungen der Vektorrechnung, München-Berlin, 1921, R. Oldenbourg.

ABSCHNITT C

Instrumente zur Flächenbestimmung

Die Auswertung der Grundrißaufnahme für die Zwecke der Flächenbestimmung erfolgt

a) rein rechnerisch aus den im Felde erhobenen Maßzahlen oder aus berechneten Koordinaten der Grenzpunkte [II 28],

b) rein graphisch aus der Plandarstellung mit Geräten zur mechanischen Flächenermittlung (Planimetern) oder durch Zerlegung der Flächen in einfache Elemente und Entnahme der notwendigen Maßzahlen bzw. Plankoordinaten mit Zirkel und sonstigen geeigneten Kartiergeräten [6] sinngemäß und durchaus entsprechend den Regeln der direkten Aufnahme im Feld.

Bei einer solchen graphischen Ermittlung ist der Papier-Flächeneingang [II 29] vollständig zu berücksichtigen.

c) Halbgraphisch durch teilweise Verbindung von Plangrößen (bei Beachtung des entsprechenden linearen Papiereinganges) mit Maßzahlen, die direkt im Feld erhoben wurden.

Die Zerlegung von Planflächen führe man so aus, daß sich die Einzelflächen als Produkte tunlichst gleich großer Faktoren ergeben, da dann, im Sinne des Fehlerfortpflanzungsgesetzes [II 15], das Ergebnis von den Fehlern der Maßzahlen am wenigsten beeinflußt wird[1].

11 Einfache Geräte zur mechanischen Flächenermittlung

Bei möglichster Unterdrückung theoretischer oder praktisch unwichtiger Einzelheiten erwähnen wir in oft nur schlagwortartiger Darstellung die folgenden Geräte, von denen die ersten drei auch behelfsweise, durch Raster- bzw. Gitterzeichnung auf Pauspapier, selbst herstellbar sind.

11,1 Parallelnetztafel

Die Randteilung einer Glastafel im Maßstabsverhältnis $1 : M$ des Planes dient zur Ablesung der Grundlinie eines Zerlegungsdreieckes, während dessen Höhe innerhalb einer Schar von Linien ermittelt wird, die mit gleichen Abständen (z. B. 5 m im Maßstab $1 : M$) parallel zur Randteilung gezogen sind. Der Schätzungsfehler soll der Verschwindungsgrenze entsprechen[2].

11,2 Quadratnetztafel

Sie trägt ein Quadratgitter zur Abzählung ganzer Quadrate mit rundem Flächeninhalt der überdeckten Fläche. Die Restflächen unvollständiger Quadrate werden nach Zehnteln abgeschätzt[2].

11,3 Fadenplanimeter (Harfenplanimeter von *Alder*)[3]

Auf einem Metallrahmen sind Fäden in gleichem Abstand a gespannt, zur Zerlegung der überdeckten Fläche in Parallelstreifen. Bei krummliniger Begrenzung (Abb. 15) werden die Randflächen f_1, f_n durch Parabelsegmente, nämlich $f_1 = \frac{2}{3} a\, h_1$, $f_n = \frac{2}{3} b\, h_{n-1}$ angenähert. Ein krummlinig begrenzter Parallelstreifen (Abb. 16) wird innerhalb der Tangenten in 1 bzw. 2 durch die Formel $f_{i\,t} = a \cdot t_i$, ($t_i = \overline{12}$) zu groß bestimmt, innerhalb der Sehnen durch 3 bzw. 4 aber, mit

der Formel $f_{is} = a \cdot s_i$, ($s_i = \overline{34}$) zu klein erhalten. Den günstigsten Wert liefert die Mittelformel

$$f_i = \frac{2}{3}(f_{it} + f_{is}) = \frac{a}{3}(2\,t_i + s_i) = a\,p_i.$$

Praktisch bestimmt man $f_i = a\,p_i$ durch direktes Abgreifen von p_i, als Abstand der Punkte 5, 6, die ihrer Lage nach entsprechend Abb. 16 eingeschätzt werden. Zufolge der gradlinigen Begrenzung

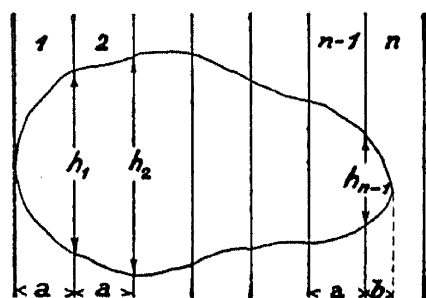



Abb. 15.

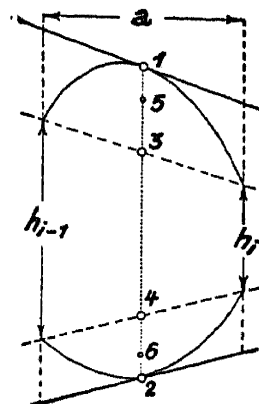



Abb. 16.

aller geodätischen Figuren sind die Mittellinien p_i hier direkt abgreifbar, u. zw. je nach der mehr oder minder gebrochenen Grenzlinie entweder für Einzelstreifen oder durch Zusammenfassung von zwei bzw. auch vier Streifen als die Mittellinien $p_{\mathrm{I}}, p_{\mathrm{II}}, p_{\mathrm{IV}}$ von 1, 2, 4 Einzelstreifen.

Zur Abgreifung der Mittellinien verwendet man sog. Additions- oder Hunderter- (Mikrometer-) Zirkel, deren Öffnung durch verstellbare Anschläge auf die Erreichung eines bestimmten Wertes p beschränkt wird. Flächen-Transversalmaßstäbe am Metallrahmen mit der Bezeichnung I, II, IV lassen für beliebige p_i die zugehörigen Flächen

$$f_{\mathrm{I}} = a \cdot p_{\mathrm{I}},\quad f_{\mathrm{II}} = 2\,a \cdot p_{\mathrm{II}},\quad f_{\mathrm{IV}} = 4\,a \cdot p_{\mathrm{IV}},$$

durch Anlegung des Zirkels wie beim gewöhnlichen Transversalmaßstab ablesen.

Arbeitsvorgang: Man entscheidet nach der Art der mehr oder minder gebrochenen Grenzlinie, in welchen Bereichen mit einem, zwei oder vier Parallelstreifen zu arbeiten ist und stellt den Anschlag des Zirkels am Transversalmaßstab I auf einen passenden runden Flächenwert ein.

Nach Abgreifung der ersten Streifenmittellinie wird die nun im Zirkel befindliche Strecke unter der nächsten Mittellinie abgesetzt und die obere Zirkelspitze auf die Grenze dieses Streifens eingestellt, so daß jetzt die Zirkelöffnung die Summe beider Mittellinien enthält. In dieser Weise wird fortgemessen, bis der Anschlag eintritt, den man durch Aufsetzen der Zirkelspitze in der Mittel-

linie festhält und notiert, wenn kein automatisch registrierendes Anschlagzählrädchen vorhanden ist. Die Gesamtfläche ergibt sich aus der Summe aller durch Anschlag bestimmten Flächen, vermehrt um jene Restfläche, die am Ende im Zirkel verbleibt und durch Abmessung am entsprechenden Transversalmaßstab bestimmt wird.

Liegt zufällig innerhalb eines Streifens ein Grenzbruchpunkt, dann wird dieser ähnlich dem Vorgang bei Geradestreckung einer Grenzlinie [II 31] schätzungsweise, aber ohne Konstruktion, in einen Streifenrand verschoben und die Mittellinie bis zur geschätzten Grenze abgegriffen.

11,4 Hyperbeltafel von *Cloth* (1883)

In einem Achsenkreuz x, y (Abb. 17) sind zwei Scharen von gleichseitigen Hyperbeln $x \cdot y = 2f$ eingeritzt und mit f beziffert.

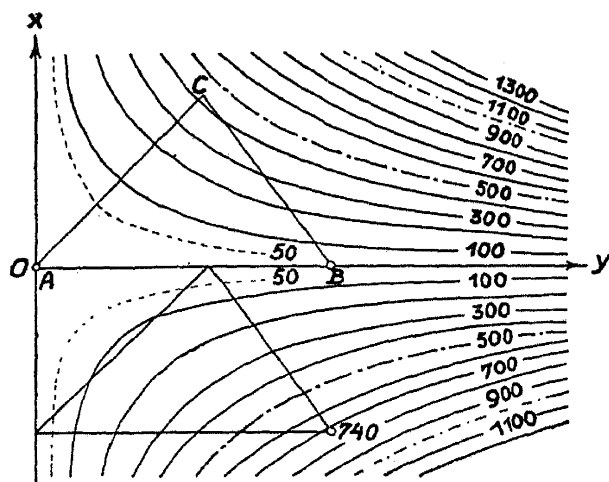



Abb. 17.

M e ß v o r g a n g: Dreieckseite AB durch y-Achse decken, Ursprung O über A. Lineal an x-Achse legen und daran Tafel verschieben, bis y-Achse durch C geht. Nunmehrige Punktlage von B zwischen benachbarten Hyperbeln interpolieren (in Abb. 17, z. B. $f \doteq 740$)[4].

12 Umfahrungsplanimeter

Sämtliche Geräte dieser Gruppe bestimmen die Fläche einer Figur durch geschlossene Umfahrung ihrer Begrenzung.

Jedes Umfahrungsplanimeter besteht aus zwei Hauptteilen, nämlich:

a) F a h r s t a b, dessen eines Ende den Fahrstift trägt, während das andere Ende gezwungen wird, sich auf einer Leitlinie zu bewegen. Diese Leitlinie ist bei den Polarplanimetern ein Kreis, bei den Linear- oder Rollplanimetern aber eine gerade Linie.

b) M e ß r o l l e. Ihr während der Figurenumfahrung zurückgelegter Weg wird auf ihrem Umfang abgewälzt und ist proportional der umfahrenen Fläche.

12,1 Einfaches Polarplanimeter von *Amsler*

Aufbau, Bezeichnung der Bestandteile (Abb. 18): Pol P, Polarm PG, Gelenk G, Fahrstab oder Fahrarm GF, Fahrstift F, Meßrolle M (Rollenachse in oder parallel GF) mit Radius r.

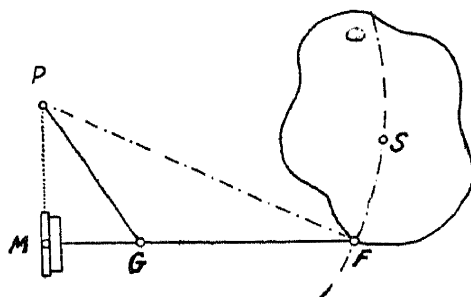



Abb. 18.

Die Abb. 19 zeigt die typische Form eines Planimeters des mathematisch-mechanischen Institutes *G. Coradi* (Zürich).

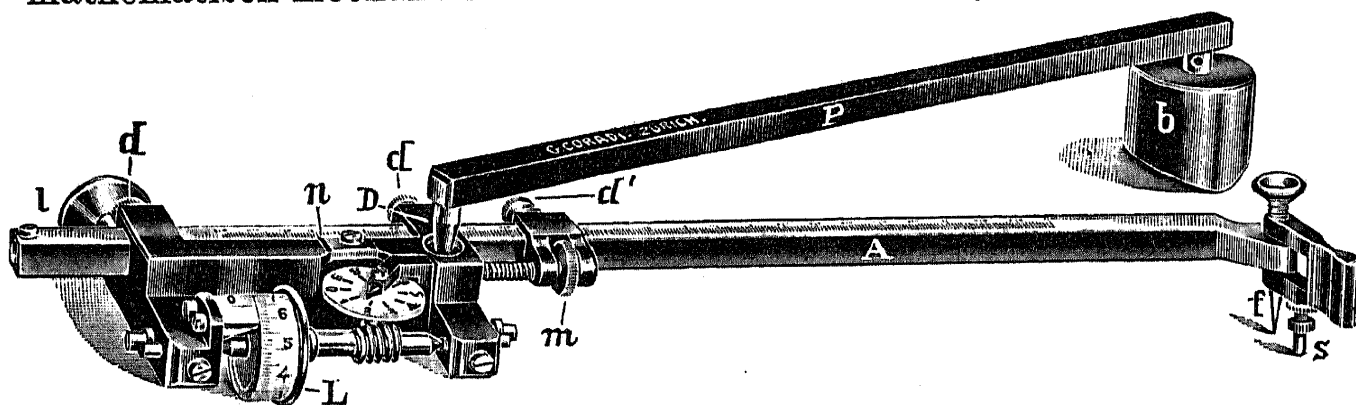



Abb. 19. *(Coradi.)*

Die Länge des Fahrstabes A kann nach Lösung von Klemmen grob verändert und — nach Festklemmung von d' — mit einem Mikrometer m auf eine bestimmte Nonius-Ablesung n der Fahrstabteilung fein eingestellt werden. Zwangfreie Fahrstiftführung über der Figur mittels ausschraubbarem Stützstift s und schwenkbarem Greifflügel. Bei den neuen Ausführungen ermöglicht eine an Stelle des Fahrstiftes vorgesehene Lupe die genaue Befahrung der vergrößert gesehenen Figurengrenze. Rollenablesung gibt ganze (bis 10) Umdrehungen durch Zählrad, Bruchteile durch Umfangsteilung der Rolle L in 100 Intervalle bzw. Nonius mit der Angabe von 0,001 Umdrehung.

12,11 Kurze Planimetertheorie.

Wir betrachten an Hand von Abb. 20 die folgenden Rollenbewegungen:

1. Verschiebung in Richtung der Rollenachse von M_1 nach M_1': Weglänge l_1, keine Rollendrehung, keine Abwälzung, d. h. $b_1 = 0$. Denkt man sich in der Stellung von Abb. 18, wo die Rollenebene M durch den Pol geht, das Planimeter im Gelenk G versteift und um den Pol geschwenkt, dann beschreibt der

Fahrstift den sog. Grundkreis mit dem Radius $\overline{PF} = R$. Während dieser Schwenkung wird die Rolle ohne Drehung gleiten, da ihre Achse eine dauernde Schiebung normal zur Rollenebene erhält.

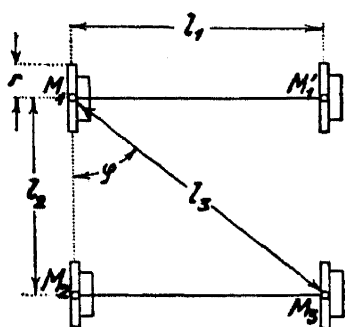



Abb. 20.

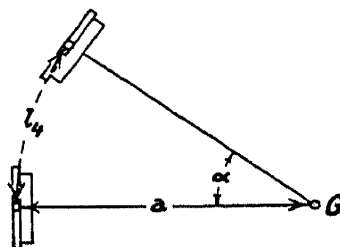



Abb. 21.

2. Abrollung (Abb. 20) in Richtung der Rollenebene von M_1 nach M_2: Weglänge l_2, Rollendrehung entspricht z. B. n_2 Noniusangaben (= Tausendstel Umdrehungen), Abwälzung $b_2 = \frac{2 r \pi}{1000} n_2 = l_2$.

3. Führung der Rolle (bei parallel bleibender Achse) von M_1 nach M_3. Stufenweise Auflösung der Bewegung in Komponenten entsprechend der Verschiebung 1. (mit Rollendrehung Null) und entsprechend der Abrollung 2. (mit voller Abwälzungssumme b_2), so daß während der Zurücklegung des Weges $\overline{M_1 M_3} = l_3$ abgewälzt wird $b_3 = b_2 = \frac{2 r \pi}{1000} n_2$. Ergebnis: $b = l \cos \varphi = \frac{2 r \pi}{1000} \cdot n$.

Der in der Richtung der Rollenachse oder parallel dazu mitgeführte Fahrstab von der Länge L überstreicht bei obigen Bewegungen stets Rechtecke oder Parallelogramme mit der Fläche $p = L \cdot b = L \cdot \frac{2 r \pi}{1000} n = w \cdot n$. Der Wert $w = \frac{2 L r \pi}{1000}$ heißt Flächenwert einer Tausendstel-Rollendrehung oder auch Flächenwert der Noniusangabe.

4. Bei Verschwenkung des Fahrarmes um das Gelenk G (Abb. 21) führt der Rollenweg $l_4 = a \cdot \alpha$ zur gleich großen Rückwälzung $b_4 = - a \cdot \alpha$, und die Fläche des vom Fahrarm L überstrichenen Kreissektors beträgt $s = \frac{\alpha}{2} L^2$.

Wir verfolgen nun die gesamte Planimeterbewegung bei der Umfahrung einer Figur an Hand der Abb. 22, wobei wir aus später noch zu nennenden Gründen annehmen, das Planimeter sei so aufgelegt, daß der erwähnte Grundkreis möglichst durch den Schwerpunkt S der Figur geht.

Aus einer Fahrarmstellung $G_1 F_1$ gehen wir durch eine sehr kleine Parallelverschiebung des Fahrstabes in die Lage $G_1' F_1'$, wodurch der Fahrarm L den sehr schmalen Streifen $G_1 F_1 G_1' F_1' =$ $= p_1 = L \cdot b_1$ überstreicht. Das nächstfolgende sehr kleine Element $F_1' F_2$ der Figurengrenze überbrücken wir, bei festliegendem Gelenk G_1', mit der sehr geringen Schwenkung α_1, wobei der Fahrarm den

Sektor $s_1 = \frac{\alpha_1}{2} L^2$ überfährt. Durch fortlaufende Aneinanderreihung von Parallelstreifen und Sektoren gelangen wir schließlich zu einer Stellung $G_u F_u$ des Fahrarmes, von der aus, bei der Weiterführung des Fahrstiftes, alle Streifen und Sektoren nun jene Fläche erzeugen, die zwischen der Figurengrenze und der Bahn des Gelenkes, dem Gelenkkreis G_1', G_u . . . . . G_1, G_o, liegen.

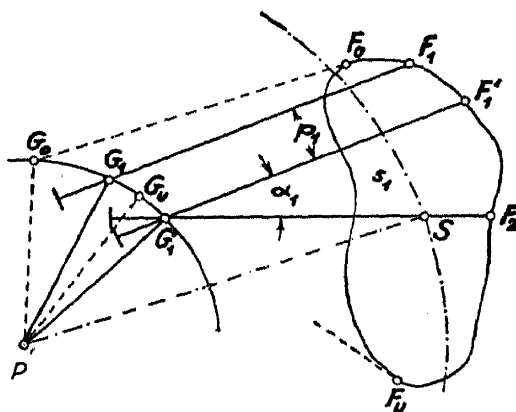



Abb. 22.

Die Betrachtung der Abb. 22 und der Rollenbewegung während der Umfahrung zeigt: Alle Parallelstreifen und Sektoren, die von der angegebenen äußersten Schwenkstellung $G_o F_o$ des Fahrarmes bis zur Lage $G_u F_u$ überstrichen werden, registriert die Rolle p o s i t i v, hingegen n e g a t i v alle jene Elemente, die der Fahrarm bei der Zurückführung von der Lage $G_u F_u$ nach $G_o F_o$ zwischen Gelenkkreis und Figurengrenze überdeckt.

Als Figurenfläche erhalten wir daher

$$f = [p] + [s] = L\,[b] + \frac{L^2}{2}\,[\alpha].$$

Der Wert $[\alpha]$ ist aber gleich Null, weil wir von der Stellung $G_o F_o$ bis $G_u F_u$ allmählich eine Vorwärtsschwenkung erzeugen, die durch eine gleich große Rückwärtsschwenkung aufgehoben wird.

Die von der Rolle angezeigte Gesamtwälzung $[b] = B$ entspricht der algebraischen Summe der Breiten aller während der Umfahrung überstrichenen Streifen, und wir erhalten

$$f = L \cdot B = L \frac{2\,r\,\pi}{1000} (n_E - n_A) = w \cdot n.$$

Es bedeutet: n_A bzw. n_E die in Noniuseinheiten ausgedrückte Rollenablesung beim Beginn bzw. beim Ende der geschlossenen R e c h t s u m f a h r u n g der Figur, somit $n = n_E - n_A$ die in

Noniuseinheiten ausgedrückte Abwälzung der Rolle während der Umfahrung, $w = \frac{2\,L r \pi}{1000}$ den bereits früher genannten Flächenwert der Noniuseinheit für die betreffende Fahrstablänge L.[5]

Wenn die zu planimetrierende Fläche so ausgedehnt ist, daß sie mit dem Planimeter in der Stellung entsprechend Abb. 22 (Pol außerhalb der Figur) nicht mehr umfahren werden kann, dann verlegt man den Pol in das Innere, u. zw. möglichst in den Schwerpunkt $S = P$ der Figur (Abb. 23).

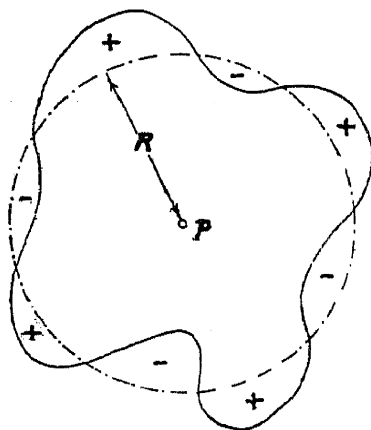



Abb. 23.

Durch direkte Beobachtung stellt man fest, daß bei Rechtsumfahrung einer außerhalb des Grundkreises verlaufenden Linie die Planimeterablesung wächst, hingegen abnimmt, wenn der Fahrstift über eine Linie innerhalb des Grundkreises läuft. Die Rolle wechselt daher bei der Durchschneidung des Grundkreises ihren Drehsinn, und da bereits bemerkt wurde, daß sie sich bei der Durchfahrung des Grundkreises nicht dreht, so erkennen wir, im Verein mit Überlegungen, wie sie vorhin angestellt wurden:

1. das Planimeter verwandelt alle bezüglich des Grundkreises außerhalb liegenden Flächen (+) in Rechtecke mit der Fläche $+ L \cdot B_a$ und die innerhalb des Grundkreises befindlichen Flächen (—) in Rechtecke mit der Fläche $- L \cdot B_i$,

2. die Rolle registriert daher bei Rechtsumfahrung als Gesamtwälzung die Summe $B_a - B_i = B$ und verwandelt demnach die auf den Grundkreis bezogenen Flächen in die gleich große Rechteckfläche $L \cdot B$.

3. Die Figurenfläche F setzt sich deshalb zusammen aus der Fläche $f_G = R^2 \pi$ des Grundkreises, vermehrt um die Fläche $f_Z = L \cdot B$ der auf den Grundkreis bezogenen Figurenteile.

Jene Anzahl von Noniuseinheiten, um die sich die Rolle weiterdrehen würde, falls sie bei Durchfahrung des Grundkreises in Be-

wegung käme, bezeichnen wir mit C. Hat die Planimetrierung der Figur, mit Pol innerhalb, von der Anfangslesung n_A bei Rechtsumfahrung zur Endablesung n_E geführt, also die in Noniuseinheiten ausgedrückte Gesamtwälzung $n = n_E - n_A$ erzeugt, dann ist $f_Z = w \cdot n$ und die gesuchte Fläche ergibt sich aus $F = f_G + f_Z = (C + n) \cdot w$.

12,12 Planimeter- und Planimetrierungsfehler

Die theoretischen Überlegungen gelten für den Fall, daß die Achse der Planimeterrolle scharf in der Richtung des Fahrarmes oder zu ihr parallel liegt. Trifft dies nicht zu, dann wird die vorhandene Rollenschiefe das Ergebnis der Planimetrierung nach der Art eines regelmäßigen Fehlers [II 11] verfälschen.

Sein Einfluß kann, bei sog. Kompensationsplanimetern (Abb. 19) dadurch ausgeschaltet werden, daß man nach oben angegebener gewöhnlicher Planimetrierung (Ergebnis n_I) den Polarm in die zur Ausgangslage des Fahrarms symmetrische Lage bringt und neuerlich planimetriert (Ergebnis n_{II}). Das Mittel $n = \frac{(n_I + n_{II})}{2}$ der beiden Ergebnisse ist frei vom Einfluß der Rollenschiefe.

Eine bedeutende Fehlerquelle liegt in dem Gleiten der Meßrolle, das unter Umständen nicht nur bei der Beschreibung des Grundkreises eintritt, sondern auch bei der Befahrung von nahen, zu ihm parallelen Linien. Die Ursache hiefür ist eine schädliche Achsreibung der Meßrolle, deren Einfluß man durch eine am Rollenumfang angebrachte äußerst feine Zahnung aufhebt bzw. möglichst herabdrückt.

Die wechselnd rauhe Papierbeschaffenheit sowie die Art der Planimeterführung mit der Hand und die persönliche Auffassung des Grenzverlaufes bewirken die Entstehung von regelmäßigen und unregelmäßigen Fehlern. Die bestmögliche Tilgung ihres Einflusses erreicht man bei Beachtung der in [12,14] angegebenen praktischen Regeln.

12,13 Die Planimetertabelle

Die praktische Arbeit wird durch die jedem Gerät beigegebene Planimetertabelle erleichtert. Sie enthält für verschiedene gebräuchliche Maßstabsverhältnisse $1:M$ die Fahrarmeinstellung E, den ihr zugehörigen Flächenwert w der Noniuseinheit und, unter der Bezeichnung „Konstante", jene in [12, 11] erwähnte Zahl C (in Noniuseinheiten), aus der sich mit der Formel $f_G = C \cdot w$ die Fläche des durch die Fahrarmeinstellung E festgelegten Grundkreises ergibt.

Jede Fahrarmeinstellung E unterscheidet sich von der Fahrarmlänge L um die bei jedem Planimeter verschiedene Nullpunkt-

korrektur x. Man bestimmt x durch Planimetrierung einer bekannten Fläche F_0 (Prüffläche) mit zwei möglichst verschiedenen Fahrarmeinstellungen E_1, E_2 und erhält:

$$F = L_1 \cdot b_1 = w_1 \cdot n_1, \quad b_1 = \frac{2\,r\,\pi}{1000} \cdot n_1 \quad \ldots \ldots \quad (1)$$

$$F = L_2 \cdot b_2 = w_2 \cdot n_2, \quad b_2 = \frac{2\,r\,\pi}{1000} \cdot n_2 \quad \ldots \ldots \quad (2)$$

$$\frac{L_1\,b_1}{L_2\,b_2} = \frac{w_1\,n_1}{w_2\,n_2}, \quad \frac{b_1}{b_2} = \frac{n_1}{n_2}, \quad \frac{L_1}{L_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad \ldots \ldots \quad (3)$$

Von den beiden Gleichungen $E_1 = L_1 + x$, $E_2 = L_2 + x$ multipliziert man die letztere mit $\frac{w_1}{w_2}$, findet die Differenz

$$E_2 \frac{w_1}{w_2} - E_1 = L_2 \frac{w_1}{w_2} - L_1 + x\left(\frac{w_1}{w_2} - 1\right).$$

Wegen $L_1\,w_2 = L_2\,w_1$, entsprechend (3), entsteht das Ergebnis

$$x = \frac{E_2\,w_1 - E_1\,w_2}{w_1 - w_2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (4)$$

Die zu einem gewünschten Flächenwert w_i der Noniuseinheit gehörige Fahrarmeinstellung E_i ergibt sich aus $E_i = L_i + x$, worin zufolge obiger Formel (3) zu setzen ist $L_1 : L_i = w_1 : w_i$, so daß

$$E_i = \frac{L_1}{w_1} w_i + x \quad \ldots \ldots \ldots \quad (5)$$

Der unter Umständen erforderliche Umfang U der Meßrolle läßt sich bestimmen aus der Beziehung

$$U : b = \frac{2\,r\,\pi}{1000} \cdot 1000 \; : \; \frac{2\,r\,\pi}{1000} \cdot n, \qquad U = \frac{1000}{n} \cdot b \quad \ldots \ldots \quad (6)$$

Man planimetriert eine Prüffläche F_0 von bekannter Größe mit der Fahrarmeinstellung E, erhält $F_0 = L \cdot b = w_0 \cdot n$, woraus sich ergibt $b = \frac{w_0}{L} n$ und $U = \frac{1000}{L} w_0$. Zur Ermittlung der Fahrarmlänge $L = E - x$, aus der vorhandenen Fahrarmeinstellung E, ist x nach Gl. (4) zu berechnen.

12,14 Die Praxis der Planimeterhandhabung

Da bei Bestimmung einer Figurenfläche $f = L \cdot b = w \cdot n$ die Größen L bzw. w augenblicklich vorhandene Instrumentkonstanten

darstellen und nur der Faktor b bzw. n gemessen wird, so ist es notwendig, hiebei jede Fehlerentstehung tunlichst zu verringern. Man muß deshalb alle Planimeterlagen und Fahrstiftwege vermeiden, bei denen sich die Meßrolle sehr rasch dreht oder besondere Gleitgefahr besteht.

Außerdem ist es günstig, die größtmögliche Fahrstablänge L zu wählen, da dann während der zugehörigen kleinsten Rollenwälzung die Möglichkeit zur Anhäufung konstanter Fehler am geringsten ist bzw. die Tilgung unregelmäßiger Fehler am wahrscheinlichsten eintritt.

Damit ergeben sich die folgenden, zum Teil bereits erwähnten praktischen Regeln:

1. Man wähle stets die größtmögliche Fahrarmeinstellung E, unter Umständen ohne Beachtung der Planimetertabelle.

2. Man lege das Planimeter so auf, daß der Grundkreis möglichst durch den Schwerpunkt S der Figur geht und diese in ihrer größten Ausdehnung durchschneidet, vermeide aber alle Figurenlagen mit Grenzlinien, die dem Grundkreis sehr nahe und parallel verlaufen.

3. Die Umfahrung ist an einer Stelle der Figur zu beginnen, wo sich die Meßrolle n u r w e n i g dreht. Hiedurch wird erreicht, daß sich ein kleiner Schlußfehler der Umfahrung nur wenig auswirkt. Es ist ratsam, die Umfahrung auch bei geradlinig begrenzten Figuren durchaus freihändig, ohne Zuhilfenahme eines Lineals, auszuführen. Hiedurch werden regelmäßig wirkende Umfahrungsfehler vermieden und die unregelmäßigen Fehler in wahrscheinlichstem Ausmaß getilgt.

4. Anfangslesung der Meßrolle n_A, Rechtsumfahrung der Figur, Endablesung n_E, Ergebnis: $n_r = n_E - n_A$.

5. Wiederholung der Planimetrierung durch Linksumfahrung der Figur, Ergebnis: $n_l = n_A - n_E$.

6. Liegt die Anfangslesung nahe der Rollenablesung von 10 ganzen Umdrehungen (10 000 Noniuseinheiten), also z. B. $n_A =$ $= 9827$, dann gibt die Rechtsumfahrung bei Überschreitung der Nullstellung unter Umständen die Endablesung $n_E = 0384$. Das Ergebnis lautet daher, bei einmaliger Überschreitung der Nullstellung, $n_E = 10\,384$ bzw. $n = 557$ Noniuseinheiten (NE).

7. Berechnung des Mittelwertes $n_I = \frac{(n_r + n_l)}{2}$.

8. Zur Ausschaltung der unter [12,12] erwähnten Rollenschiefe setzt man den Polarm symmetrisch zum Fahrarm um, planimetriert

entsprechend 4., 5., erhält z. B. n'_r bzw. n'_l und hieraus den Mittelwert $n_{II} = \frac{(n'_r + n'_l)}{2}$ für die Pollage II.

Der vom Fehler der Rollenschiefe befreite Endwert ergibt sich aus.

$$n = \frac{(n_I + n_{II})}{2}.$$

9. Wurde vor Beginn der Planimetrierung eine in der Planimetertabelle angegebene Fahrarmeinstellung gewählt, dann kann der zur Berechnung der Figurenfläche $f = w \cdot n$ notwendige und zugehörige Flächenwert w der Noniuseinheit aus der Planimetertabelle entnommen werden. Man erreicht jedoch dabei nur eine für überschlägige Zwecke ausreichende Genauigkeit, denn der in der Tabelle enthaltene Betrag von w entspricht nur jenen Verhältnissen (Beobachter, Papiersorte usw.), die seinerzeit in der Fabrik bei der Ausarbeitung der Tabelle in Geltung waren.

Für genaueste Arbeit hat man den tatsächlichen Flächenwert w_0 durch Prüfung des Planimeters [12,15] zu bestimmen und mit ihm weiter zu rechnen.

10. Die gesuchte Fläche ergibt sich aus $f = w_0 \cdot n$.

11. Die Größe w_0 ist der sogenannte geprüfte Flächenwert einer Noniuseinheit *(NE)*, ausgedrückt in mm^2 pro *NE* für das Maßstabsverhältnis 1 : 1 oder ausgedrückt in m^2 pro *NE* für das Maßstabsverhältnis 1 : 1000. Der Übergang auf einen beliebigen Planmaßstab $1 : x \cdot 1000$ erfolgt sodann mit der Beziehung

$$f_{1:1000} : f_{1:x \cdot 1000} = 1 : x^2, \quad f_{1:x \cdot 1000} = x^2 \cdot f_{1:1000}.$$

12. Für etwas ungenauere Arbeit und zur Vermeidung der Rechnungen mit w_0 kann man aber auch durch Prüfung nur den Flächenwiderspruch $\Delta f =$ Ist—Soll feststellen, der sich bei Verwendung des Tabellenwertes w ergibt. Ist z. B. Δf um $\frac{1}{n}$ der Soll-Fläche kleiner als diese, dann muß der Fahrstab um $\frac{1}{n}$ seiner Lage verkürzt werden, wodurch sich auf der Meßrolle ein entsprechender Mehrbetrag abwälzen wird.

12,15 Planimeterprüfung, Bestimmung des geprüften Flächenwertes w_0 der Noniuseinheit

Man benützt hiezu das dem Planimeter meist beigegebene Prüflineal mit Einsatzstellen für den Fahrstift, dessen Stützstift entfernt wird. Die Einsatzmarken entsprechen den angegebenen Kreis-

radien oder Kreisflächen. Bei Fehlen des Prüflineals ist eine einfache, genau konstruierte Figur als Vergleichsfläche zu verwenden, die mindestens so groß sein soll, wie die später zu planimetrierenden Einzelflächen. Benützt man das Prüflineal, so ist zweckmäßigerweise die größtmögliche Fläche zu überprüfen.

Nach Eindrücken der Mittelpunktmarke wird, bei Einhaltung der unter [12,14] gegebenen Regeln, das Planimeter aufgelegt, die Ausgangsstellung durch einen Bleistiftstrich bezeichnet und genau in der Art planimetriert, wie die spätere Arbeit ausgeführt werden soll. Da man in der Praxis nach einer Vorprüfung die Rollenschiefe bestimmt und mit Hilfe der Richtschräubchen (in Abb. 19 in Verlängerung der Meßschraubenspindel sichtbar) für die Rollenachse soweit als möglich beseitigt, verzichtet man oft auf die zeitraubende Planimetrierung in der Pollage II und arbeitet nur in einer Pollage.

Beispiel: Prüflineal (Radius 8 cm) mit Prüffläche

$$F_o = 8^2 \pi \, \text{cm}^2 = 20\,106 \, \text{mm}^2.$$

Rechtsumfahrung	Linksumfahrung
$n_A = 1732\,NE$	$n_A = 1845 = 11\,845\,NE$
$n_E = 3747\,NE$	$n_E = 9828 = 9\,828\,NE$
$n_r = 2015\,NE$	$n_l = \qquad = 2\,017\,NE$

$$n_I = 2016\,NE.$$

Zur Erzielung größerer Genauigkeit wiederholt man meist die Beobachtungen, erhält z. B. $n'_I = 2015\,NE$, also den Mittelwert

$$n = 2015{,}5\,NE,$$

und weiter

$$F_o = w_o \cdot n, \quad w_o = \frac{20.106\,\text{mm}^2}{2015{,}5\,NE} = 9{,}9757\,\text{mm}^2/NE.$$

12,16 Planimetrierungsbeispiel und -rechnung

Unter Beachtung der Planimetrierungsregeln [12,14] erhielt man die folgenden Ergebnisse für eine im Maßstabsverhältnis 1 : 2880 gezeichnete Figur.

Rechtsumfahrung	Linksumfahrung
$n_A = 2758\,NE$	$n_A = 3480\,NE$
$n_E = 3474\,NE$	$n_E = 2763\,NE$
$n_r = 716\,NE$	$n_l = 717\,NE$

$$n_I = 716{,}5\,NE,$$

$$f = w_o \cdot n = 9{,}9757\,\text{mm}^2\,/\,NE \cdot 716{,}5\,NE = 7147{,}6\,\text{mm}^2.$$

An Stelle dieser vollständigen Multiplikation wird praktisch kürzer und rascher mit dem Näherungswert $w_o' = 10\,\text{mm}^2/NE$ ge-

rechnet und die Abweichung $w_0 - w_0' = -0{,}0243\ \mathrm{mm}^2/NE$ durch einen Flächenabschlag von 0,243% berücksichtigt, für dessen Ermittlung auch der Rechenschieber verwendbar ist.

Auf diese Weise erhielte man $f = w_0' \cdot n_I = 7165\ \mathrm{mm}^2$ (0,1% hievon $= 7{,}17\ \mathrm{mm}^2$) und mit dem Abzug von $17{,}4\ \mathrm{mm}^2$ wieder $f = 7147{,}6\ \mathrm{mm}^2$.

Die entsprechende Fläche im Maßstabsverhältnis 1 : 1000 hat daher die Größe $f_{1:1000} = 7147{,}6\ \mathrm{m}^2$ und die tatsächlich im Maßstabsverhältnis 1 : 2880 ($x = 2{,}88$) gezeichnete Fläche ergibt sich durch Multiplikation mit $x^2 = 8{,}2944$, nämlich $f_{1:2880} = 59\,285\ \mathrm{m}^2$.

Es ist selbstverständlich, daß der Faktor x^2 in keiner Weise gekürzt oder abgerundet werden darf, weil dies einer Abänderung des Maßstabsverhältnisses entsprechen würde.

12,17 Zusätzliche Bemerkungen

1. Wenn eine Figur mit „Pol innerhalb“ planimetriert werden soll und die zur Grundkreisfläche f_G gehörige Zahl C [12,11] nicht bekannt ist, dann ermitteln wir sie durch Planimetrierung einer dem Grundkreis nahezu gleich großen, genau bekannten oder konstruierten Figur. Hiezu wird, nach Auflegung des hinsichtlich w_0 geprüften Planimeters, die ungefähre Fläche des Grundkreises mit dessen geschätztem Radius berechnet und z. B. ein entsprechendes Quadrat aus dem u. U. bereits vorhandenen Koordinatengitter des Planes abgegrenzt oder aber ein Kreis mit genau berechneter Fläche F gezeichnet. Man planimetriert dann diese als Prüffläche geltende Figur wie gewöhnlich, achtet besonders auf die Vorzeichenrichtigkeit von n und bestimmt C mit der Schlußgleichung von [12,11] unter Einführung des zur vorhandenen Fahrarmeinstellung gehörigen geprüften Flächenwertes w_0 der Noniuseinheit, aus $C = \frac{F}{w_0} - n$.

Beispiel: Mit dem Planimeter, dessen w_0 nach [12,15] mit $w_0 = 9{,}9757\ \mathrm{mm}^2/NE$ berechnet wurde, will man die von Schichtlinien umschlossenen Flächen, für die Ermittlung eines Staubeckeninhaltes, in der Stellung mit Pol innerhalb planimetrieren. In dem 100 m-Gitter des vorhandenen Planes 1 : 2500 grenzen wir ein Quadrat von 10 Gittereinheiten = 400 m Seitenlänge ab, planimetrieren es mit „Pol innerhalb“ und bemerken bei einer immer empfehlenswerten versuchsweisen Rechtsumfahrung, daß die Anfangsablesung $n_A = 2428\ NE$ mit einmaliger Durchschreitung der Nullstellung auf die Endlesung $n_E = 7714\ NE$ abnimmt. Wird daher $n_A = 12\,428\ NE$ gesetzt, so entstehen die folgenden Ergebnisse:

Rechtsumfahrung	Linksumfahrung
$n_A = 12\,428\ NE$	$n_A = 7\,716\ NE$
$n_E = 7\,714\ NE$	$n_E = 12\,436\ NE$
$n_r = -4\,714\ NE = n_E - n_A$,	$n_l = -4\,720\ NE = n_A - n_E$,

$$n = -4717\ NE,$$

$$C = \frac{400^2 \text{ mm}^2}{9{,}9757 \text{ mm}^2/NE} - (-4717\ NE) = 16\,039\ NE + 4717\ NE,$$

$$C = 20\,756\ NE.$$

2. Jedes Polarplanimeter kann in sehr einfacher Weise zur Bestimmung der mittleren Höhe von Indikatordiagrammen für die im Bauwesen zur Benutzung kommenden Explosionsmotoren verwendet werden. Macht man nämlich die Fahrstablänge gleich der Grundlinie g des Diagramms und planimetriert dieses, so gibt die Rollenabwälzung die mittlere Diagrammhöhe h_m an, denn durch die Planimetrierung ist die Diagrammfläche F in ein flächengleiches Rechteck $F = g \cdot h_m$ verwandelt worden.

Für die Einstellung der Fahrarmlänge L auf die Diagrammgrundlinie ist die Pfanne des Planimetergelenkes (D in Abb. 19) mit einem feinen Loch versehen, mit dem man den einen Endpunkt der Grundlinie deckt und dann die Fahrstiftspitze bis in den anderen Endpunkt verschiebt. Ist der Umfang U der Rolle entsprechend [12,13] Gl. (6) bestimmt worden und die Planimetrierung der Diagrammfläche hat n NE ergeben, dann erhalten wir

$$h_m = \frac{U}{1000} \cdot n.$$

3. Die durch den Papiereingang [II 29] bewirkte Flächenschrumpfung kann für überschlägige Zwecke automatisch berücksichtigt werden, indem man den um das Flächeneingangsprozent φ verbesserten Flächenwert $w_i = w_o \left(1 + \frac{\varphi}{100}\right)$ der NE bestimmt, die ihm zugehörige Fahrstabablesung E_i [12,13] Gl. (5) einstellt und planimetriert. Bei angestrebter größerer Genauigkeit ist indessen rechnerische Berücksichtigung des Flächeneinganges vorzuziehen.

12,2 Scheibenplanimeter

Auf den Mittelpunkt P der Polplatte P (Abb. 24) wird das eigentliche Planimeter so aufgesetzt, daß das die Achse der Scheibe S antreibende unterseitige, in der Abb. 24 nicht sichtbare Zahnrad in die Zahnung der Polplatte eingreift. Ein kippbarer Rahmen M des Fahrstabes F trägt die zu diesem parallele Achse der Meßrolle R und kann mit der Schraube a auf die Planimeterscheibe gesenkt werden, bis die Meßrolle R auf ihr aufliegt. Führt man den Fahrstab in Tangentenstellung zur Polplatte, dann geht die Meßrollenebene durch den Pol P, dessen Abstand vom Fahrstift (bzw. der Einstellmarke der Fahrlupe s) nun den Radius des Grundkreises darstellt. Wird der Fahrstab aus dieser Lage um den Winkel α geschwenkt, dann gleitet hiebei die

Meßrolle ohne Drehung auf der Papierbespannung der Planimeterscheibe S. Beschreiben wir in dieser Endstellung mit dem Fahrstift einen Kreisbogen, dann dreht sich die Rolle proportional dem Produkt (Fahrstablänge L) $L \cdot \sin \alpha$ und die weiteren theoretischen Entwicklungen führen wieder zur bekannten Flächenformel $f = w \cdot n$. Der Flächenwert w der Noniuseinheit kann, je nach der Fahrstabeinstellung, innerhalb der Grenzen von $2\,\mathrm{mm}^2/NE$ und $0{,}5\,\mathrm{mm}^2/NE$ gewählt werden.

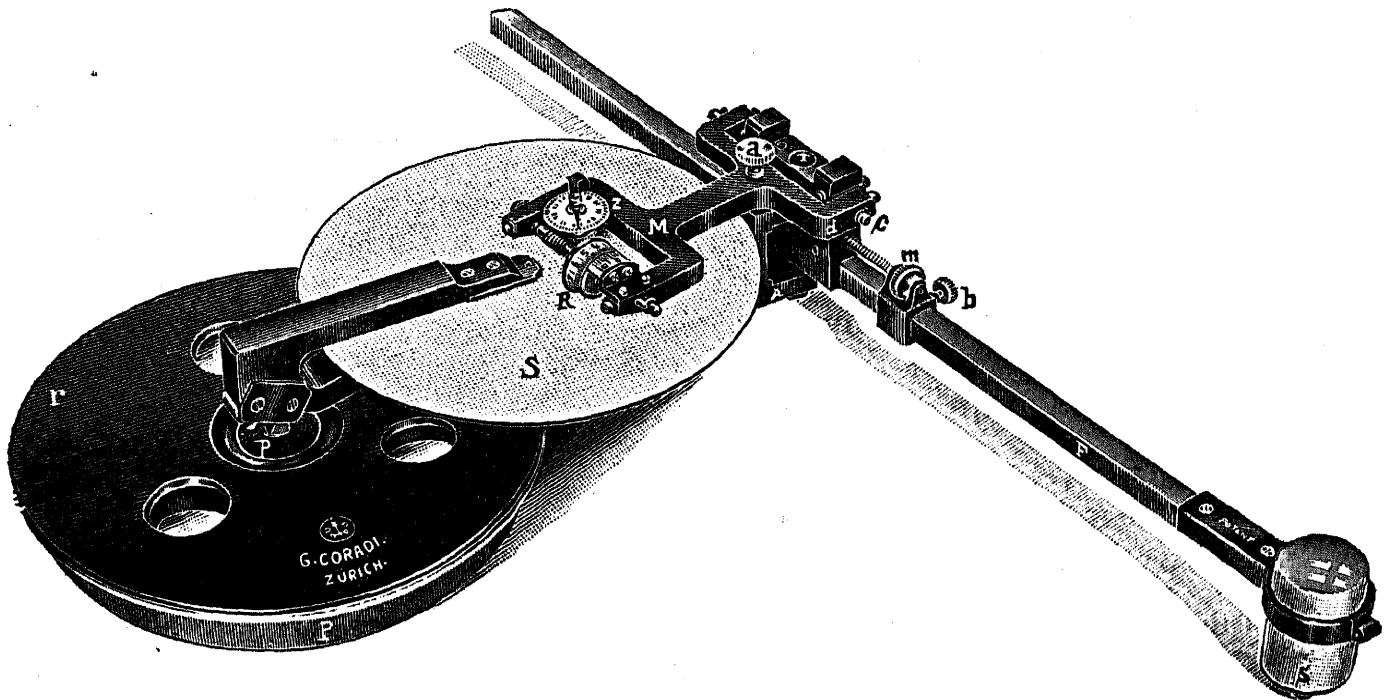



Abb. 24. *(Coradi.)*

Dieses Planimeter arbeitet sehr genau und völlig unabhängig von der Beschaffenheit des Planpapiers, da sich die Meßrolle nur auf der Scheibenfläche bewegt, deren Rauhigkeit, gewissermaßen als Eigenschaft des Instrumentes, bei der Prüfung des Planimeters im geprüften Flächenwert w_0 der Noniuseinheit automatisch zum Ausdruck kommt. Die Prüfung und Planimetrierung folgt durchaus den unter [12,14] und [12,15] angegebenen Regeln[6].

12,3 Kugelrollplanimeter

Die Leitlinie dieses Gerätes ist wie bei jedem Linearplanimeter eine Gerade, nämlich die Fahrrichtung der Wagenrollen R_1, R_2 (Abb. 25). Ihre Drehung wird vorerst über J auf die Achse des Kugelabschnittes K übertragen, den ein Zylinder c mit der Meßrolle federnd berührt. Liegt der Fahrstab und die zu ihm parallele Zylinderachse in der Fahrrichtung, dann berührt der Kugelpol den Zylinder, so daß bei Bewegung in der Fahrrichtung keine Rollendrehung eintritt. Bei

Ausschwenkung des Fahrstabes und Fahrstiftführung parallel zur Leitlinie wälzt sich am Zylinder der entsprechende Bogen eines Parallelkreises der Kugel ab.

Die theoretische Untersuchung der Bewegungsvorgänge führt wieder zur Flächenformel $f = w \cdot n$. Der Flächenwert w der NE ist je nach Fahrstabeinstellung in den Grenzen von 2—0,32 mm²/NE veränderbar. Da die Meßrolle nur drehende Bewegungen auf der genau

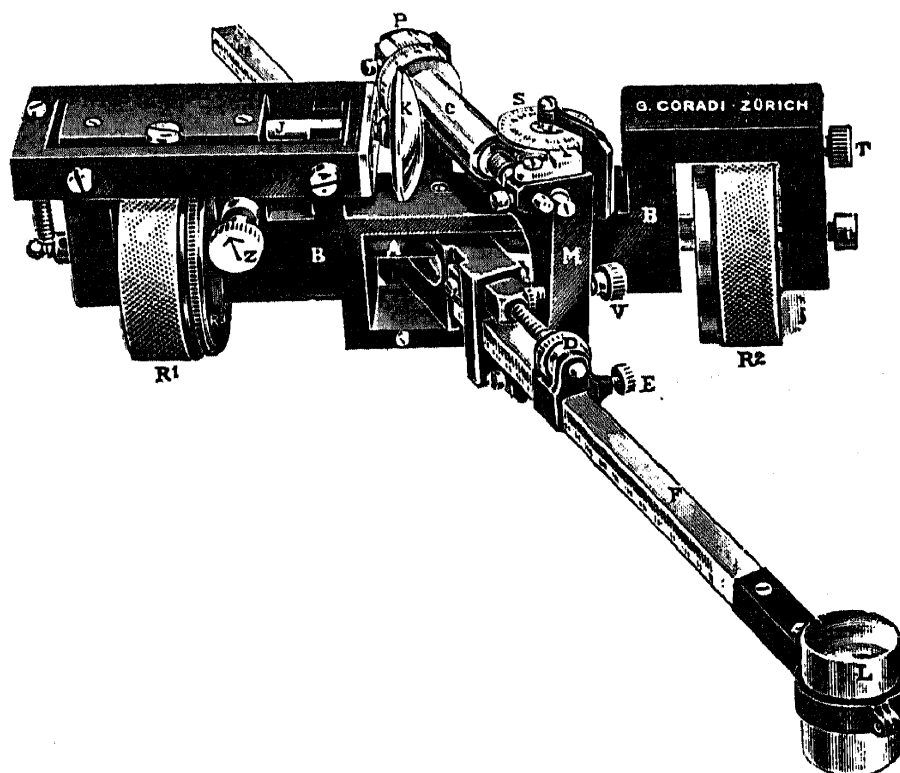



Abb. 25. *(Coradi.)*

geschliffenen Kugeloberfläche ausführt, ist die Größe der gleitungsfreien Rollenabwicklung völlig unabhängig vom Zustand des Planpapiers. Mit dem Instrument können in einem Zug Flächen umfahren werden, deren Breite der eingestellten Fahrstablänge entspricht (je nach Type 200—500 mm) und deren Längserstreckung beliebig groß sein darf[6].

Hinsichtlich Handhabung und Prüfung gelten die allgemeinen Grundsätze. Kalotte und Zylinder sind bei Nichtgebrauch durch Zwischenlage eines Lederpolsters gegen Beschädigung zu schützen.

12,4 Stangenplanimeter von *Prytz*

Bei diesem Linearplanimeter, das hier weniger aus praktischen Gründen, sondern wegen seiner interessanten Wirkungsweise erwähnt wird, ist die Leitlinie eine Kurve, die von der Form der umfahrenen Figur abhängt und sich mit ihr ändert.

Der Fahrstab von der Länge L trägt eine beilförmige Schneide, die das Maß der seitlichen Verschiebung des Fahrstabes angibt. Die Befahrung der Figur (Abb. 26) beginnt in ihrem geschätzten Schwerpunkt S. Die zugehörige Lage der Schneide wird durch deren leichtes Eindrücken ins Papier vermerkt.

Man fährt nun nach dem auf der Grenzlinie bezeichneten Punkt 1, dann die Umgrenzung entlang, bis wieder Punkt 1 erreicht ist und endet schließlich in S. Die Schneide beschreibt den in Abb. 26 punktiert angedeuteten Weg bis zur Endstellung e, die wir wieder durch Eindrücken der Schneide bezeichnen. Mißt

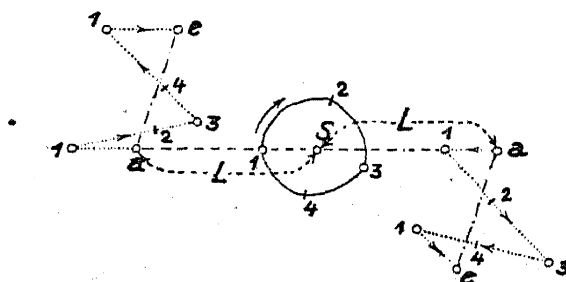



Abb. 26.

man den Abstand $\overline{ae} = c_i$ der Schneidemarken, so ergibt sich die Figurenfläche aus $f = c_i \cdot L$. Bei Gegenumfahrung bzw. Umsetzung des Fahrstabes oder anderer Wahl seiner Ausgangslage entstehen, durch verschiedene Fehlereinflüsse, geringfügig abweichende Werte c_i, die man schließlich in ein Mittel C zusammenfaßt[7].

Trägt man vor allem für zwangfreie Führung des Fahrstiftes auf waagrechter Unterlage Sorge, dann bringen auch behelfsweise Ausführungen des Stangenplanimeters durchaus taugliche Anhaltspunkte für überschlägige Flächenbestimmungen.

12,5 Genauigkeit der Planimeter

Bei Verhältnissen, wie sie gewöhnlich in der Praxis vorliegen bzw. bei Einhaltung der im Verlaufe der Erörterungen erwähnten Regeln, wird man bei der Planimetrierung einer nahezu quadratischen Fläche von etwa 100 cm² mit den besprochenen Geräten die folgenden relativen Genauigkeiten erwarten dürfen:

1. Parallel- (Quadrat-) Netztafel, je nach Schätzgenauigkeit.
2. Fadenplanimeter, je nach wenig oder stark gebrochenem Grenzverlauf 1 : 500—1 : 100.
3. Bei gegensinniger Doppelumfahrung:
   Einfaches Polarplanimeter (eine Pol-Lage) . . . etwa 1 : 500
   Kompensationsplanimeter (zwei Pol-Lagen) bis etwa 1 : 2000
   Kugelroll- und Scheibenplanimeter . . . . bis etwa 1 : 5000
4. Stangenplanimeter von *Prytz* . . . . bis etwa 1 : 100.

Bei größeren bzw. kleineren Flächen steigt bzw. sinkt die relative Genauigkeit, und wir dürfen für $f \doteq 50$ cm² etwa die doppelt so

großen, für $f \doteq 10\ \mathrm{cm}^2$ aber etwa die fünffachen Werte der oben angegebenen Beträge annehmen[8].

Die Dienstvorschrift Nr. 14 des BAfEuV*) legt fest[9], daß rein planimetrische Flächenbestimmungen mit einem Faden- oder Kugelroll bzw. Scheibenpolar-Planimeter immer doppelt auszuführen sind. Die beiden Ergebnisse dürfen die folgenden Unterschiede nicht überschreiten:

im Maßstabsverhältnis 1 : 2000 $\Delta F \leqq 0{,}001\,F + 0{,}04\sqrt{F}$,
„ „ 1 : 1000 $\Delta F \leqq 0{,}001\,F + 0{,}02\sqrt{F}$.

Sind sehr viele Flächen rein planimetrisch zu ermitteln, dann wird man stets nach dem Grundsatz der Arbeit vom Großen ins Kleine vorgehen und Gruppen von möglichst kreisförmiger oder quadratischer Begrenzung zusammenfassen. Für den Bereich jeder solchen Gruppe bestimmen wir vorerst den zugehörigen geprüften Wert w_0 der *NE* und hiemit die Gruppenfläche F. Nach Planimetrierung aller Einzelflächen wird der Widerspruch ihrer Summe gegen den Sollwert F proportional zur Größe der Einzelflächen aufgeteilt.

Literaturhinweise zu Abschnitt C [11], [12]

1 *Jordan-Eggert,* V. K. II 1, § 47.
2a *Näbauer,* V. K., S. 342—344, S. 350—356.
2b a. a. O. 1, § 40.
3 *Hartner-Doležal,* N. G. I 2, S. 1055.
4 a. a. O. 1, S. 178.
5a a. a. O. 3, S. 1069 ff.
5b a. a. O. 1, § 41.
5c *Näbauer,* V. K., S. 345 ff.
6 a. a. O. 3, S. 1081—1083; a. a. O. 1, S. 189—195.
7 a. a. O. 3, S. 1083; a. a. O. 1, S. 197 ff.
8 a. a. O. 3, S. 1084; a. a. O. 1, § 45; a. a. O. 5 c, S. 356.
9 Dienstvorschrift Nr. 14, Fehlergrenzen und Hilfstabellen für Neuvermessungen, Bundesvermessungsdienst, Wien 1937, Tabelle 10, S. 11.

ABSCHNITT D

Grundlagen der Optik

Die von der Physik übermittelten elementaren Begriffe über die optische Abbildung durch Spiegelung und Brechung erweitern wir durch die nachfolgenden ergänzenden Bemerkungen, die sich auf die

*) BAfEuV (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen).

Gesetze der Abbildung durch ein sehr dünnes Lichtstrahlenbündel (*Gaußsche* Abbildung)[1] beziehen und zum Verständnis der Wirkungsweise moderner geodätisch-photogrammetrischer Instrumente notwendig sind.

13 Abbildung durch eine und mehrere Linsen

Die von Kugelflächen begrenzte materielle Linse aus Glas mit dem Brechungskoeffizienten n erzeugt von dem im Gegenstandsraum (Dingraum) befindlichen Gegenstand G ein Bild B im Bildraum. Die Mittelpunkte der Kugelflächen bestimmen die optische Achse der Linse. Fallen die optischen Achsen mehrerer Linsen zusammen, so bilden diese ein zentriertes Linsensystem. Die verwickelteren Verhältnisse der Strahlenbrechung an den Kugelflächen der Einzellinse werden durch Einführung der beiden Hauptebenen H, H' vereinfacht. Die zu ihnen senkrechte optische Achse durchstößt sie in den beiden Hauptpunkten H (Gegenstands-Hauptpunkt) und H' (Bild-Hauptpunkt) (Abb. 27). Ist d der Abstand der

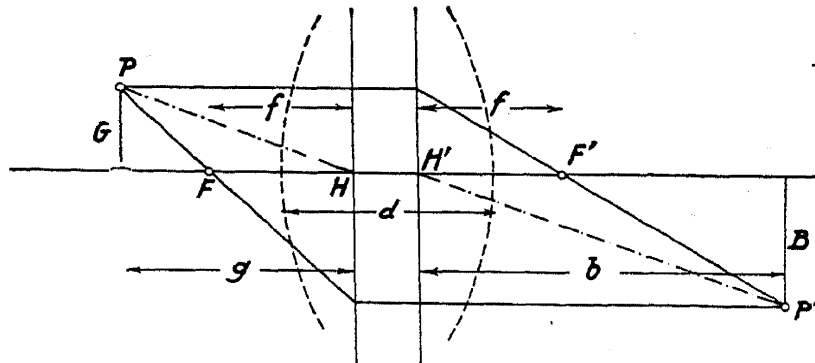



Abb. 27.

Linsenflächen (Linsendicke) in der optischen Achse, so ergibt sich der Abstand der Hauptpunkte

$$\overline{HH'} = d\,\frac{n-1}{n} \quad \text{und für } n \doteq 1{,}5,\ \overline{HH'} \doteq \frac{d}{3}.$$

Für überschlägige praktische Betrachtungen vernachlässigt man die Linsendicke ($d = 0$) und erhält dann, bei Zusammenfallen von H und H', die sog. sehr dünne Linse mit einfacheren rechnerischen bzw. geometrischen Gesetzen[2] der optischen Abbildung. In den folgenden Abbildungen bezeichnen wir die Linsen mit dem Buchstaben L und fügen die Brennweite f in runder Klammer bei.

Aus der Gesamtheit aller in Abb. 27 vom Gegenstand austretenden Strahlen wählen wir zur Verfolgung der Bildentstehung:

1. die Parallelstrahlen zur optischen Achse,
2. die durch den Hauptpunkt H gehenden Hauptstrahlen PH,
3. die nach F führenden Brennstrahlen PF.

Alle Parallelstrahlen aus dem Gegenstandsraum schneiden sich im rückwärtigen oder Bild-Brennpunkt F' des Bildraumes und alle Parallelstrahlen aus diesem konvergieren im vorderen Brennpunkt F des Dingraumes.

Die vordere bzw. rückwärtige Brennweite einer von Luft umgebenen Linse aus Glas mit dem Brechungskoeffizienten n sind gleich groß, entsprechend der durch die Gesetze der *Gauß*schen Abbildung gegebenen Beziehung

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) = (n-1) \cdot k \quad \ldots \ldots \quad (1)$$

Hier sind r_1 bzw. r_2 die Halbmesser der dingseitigen bzw. bildseitigen Linsenfläche, wo r_1 positiv gezählt wird, wenn die erhabene Fläche dem Licht zugewendet ist[3].

Sammellinsen sind daher durch positive, Zerstreuungslinsen aber durch negative Brennweite gekennzeichnet.

Es ist üblich, optische Strecken in Dioptrien (dptr.) auszudrücken, wobei eine Dioptrie dem reziproken Wert eines Meters entspricht. Die in Dioptrien angegebene Brennweite einer Linse wird als ihre Stärke oder Brechkraft bezeichnet (z. B. $f = 0{,}20$ m $= 5$ dptr.).

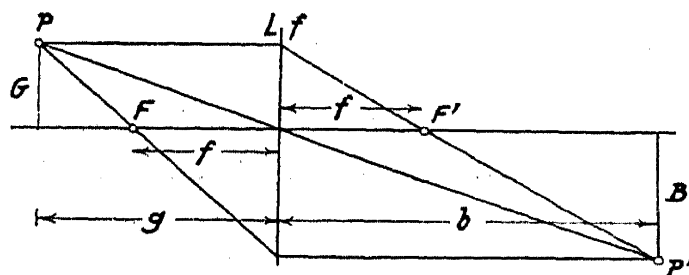



Abb. 28.

Aus der Abb. 27 ist die Konstruktion des dem Gegenstand G entsprechenden Bildes B mit Hilfe der oben erwähnten Strahlen und der Hauptebenen H, H' erkennbar. Der Parallelstrahl durch P wird von H' nach F' abgelenkt, der Hauptstrahl PH tritt in H' unter gleicher Neigung aus und der Brennstrahl PF verläuft ab H als Parallelstrahl zum gemeinsamen Schnitt im Bildpunkt P'.

Vernachlässigt man die Linsendicke d, so daß H mit H' in der Ersatzebene L zusammenfällt, dann entsteht der Strahlenverlauf von Abb. 28.

Die einer Gegenstandsweite g im Dingraum entsprechende Bildweite b im Bildraum ergibt sich aus der Abbildungsgleichung

$$\frac{1}{g}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

Hieraus erhalten wir

$$b=\frac{f \cdot g}{g-f}=\frac{f}{1-\frac{f}{g}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (3)$$

wodurch die folgenden Abbildungs- und Verwendungsbereiche einer Einzellinse festgelegt sind:

$g \overline{\overline{<}} \infty$, $b \overline{\overline{>}} f$ $g \overline{\overline{<}} 2f$, $b \overline{\overline{>}} 2f$ $g \geqq f$, $b \leqq \infty$	reelle, auffangbare Bilder im Bildraum	Fernrohr, Photographie, Mikroskop, Projektion, Scheinwerfer,

$g < f$, $b < 0$ virtuelle, nicht auffangbare Bilder im Gegenstandsraum, Wirkung als Lupe.

Die mit einem optischen Hilfsmittel erzielte Vergrößerung V können wir praktisch meist hinreichend genau bezeichnen durch das Verhältnis der Sichtwinkel φ bzw. ψ, unter denen das letzte mit dem optischen Mittel erzeugte Bild bzw. der Gegenstand erscheint.

Zum Verständnis der Wirkungsweise der Okulare [16,1] und der Fernrohre [16,5] benötigen wir noch die Kenntnis der Bilderzeugung durch zwei bzw. drei zentrierte Linsen[4].

Abbildung durch zwei (zentrierte) Linsen.

Die Wirkung der beiden materiellen Linsen L_1, L_2 (Abb. 29) mit den Brennweiten f_1, f_2 im Abstand a ist darstellbar durch eine

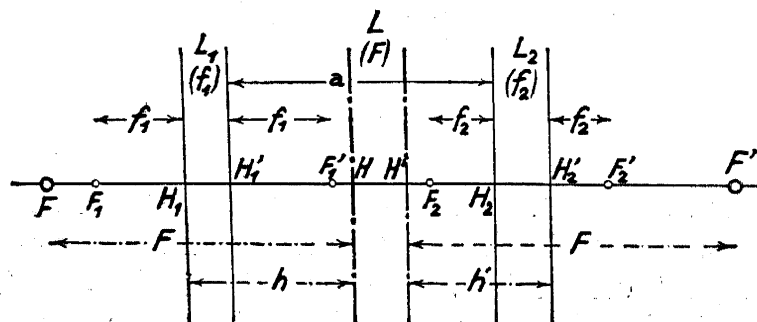



Abb. 29.

Äquivalentlinse oder Ersatzlinse L mit der Äquivalent-(Ersatz-) Brennweite F. Die Lage ihrer Hauptebenen H, H' ist durch die Abstände h, h' gegeben:

$$F = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 - a}, \quad h = \frac{a \cdot f_1}{f_1 + f_2 - a}, \quad h' = \frac{a \cdot f_2}{f_1 + f_2 - a} \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Entsprechend Abb. 29 liegt der vordere Brennpunkt F der Ersatzlinse im Abstand $F - h$ v o r der Hauptebene H_1 von L_1 und der rückwärtige Brennpunkt F' im Abstand $F - h'$ h i n t e r der Hauptebene H'_2 von L_2. Bei Annahme sehr dünner Linsen L_1, L_2

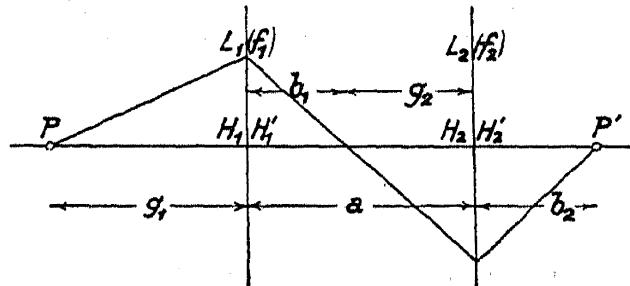



Abb. 30.

rücken die Hauptpunkte H_1, H_1'; H_2, H_2'; H, H' zusammen und es ergeben sich zu Abb. 30 die Abbildungsgleichungen eines zentrierten Zweilinsensystems mit[5]:

$$\frac{1}{g_1} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{f_1}, \quad b_1 + g_2 = a \text{ (Verbindungsgleichung)},$$

$$\frac{1}{g_2} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{f_2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

A b b i l d u n g d u r c h d r e i s e h r d ü n n e (z e n t r i e r t e) L i n s e n.

Aus Abb. 31 liest man die folgende Gleichungsgruppe mit den eigentlichen Abbildungsgleichungen 1., 3., 5. und den Verbindungsgleichungen 2., 4. ohne weiteres ab.

$$\left.\begin{array}{lll}
\text{Linse } L_1\text{:} & 1. & \frac{1}{g_1} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{f_1} \\
 & 2. & b_1 + g_2 = a_1 \\
\text{Linse } L_2\text{:} & 3. & \frac{1}{g_2} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{f_2} \\
 & 4. & b_2 + g_3 = a_2 \\
\text{Linse } L_3\text{:} & 5. & \frac{1}{g_3} + \frac{1}{b_3} = \frac{1}{f_3}
\end{array}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Nach Annahme eines Wertes g_1 finden wir bei schrittweiser Durchrechnung: b_1 aus 1., g_2 aus 2. usw. und schließlich b_3 aus der letzten Gleichung.

Die Brennweite F und damit die Lage der Äquivalentlinse zu dem obigen Dreilinsensystem ergibt sich aus Abb. 32 bei Verfolgung eines Parallelstrahles ($g_1 = \infty$) mit dem Achsenabstand c_1.

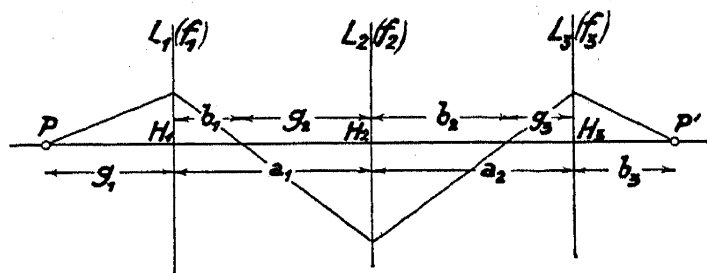



Abb. 31.

Eine Durchrechnung des vorigen Gleichungssystems (6) mit $g_1 = \infty$ legt vorerst über alle Zwischenwerte g_2, b_2, g_3 mit der letzten Bildweite b_3 den Bildpunkt P' fest. Er ist aber zugleich rückwärtiger Brennpunkt F' der Ersatzlinse, da diese den ursprünglichen

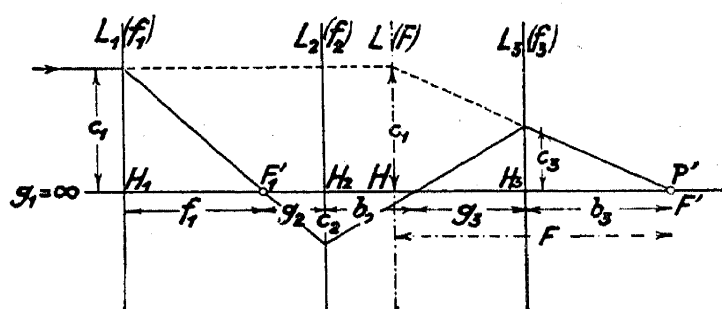



Abb. 32.

Parallelstrahl nach ihrem rückwärtigen Brennpunkt F' lenken muß. Man erhält mit Abb. 32 die Abstandsgleichungen

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{f_1}{g_2}, \quad \frac{c_2}{c_3} = \frac{b_2}{g_3}, \quad \frac{c_1}{c_3} = \frac{F}{b_3}, \quad \ldots \ldots \quad (7)$$

$$\frac{c_1}{c_3} = \frac{f_1\, b_2}{g_2\, g_3} \text{ und } F = f_1 \cdot \frac{b_2\, b_3}{g_2\, g_3} \quad \ldots \ldots \quad (8)$$

Die Ersatzlinse L des Systems von Abb. 32 bzw. 31 liegt daher im Abstand $F - b_3$ vor der Linse L_3.

14 Fehler und Verbesserung der optischen Abbildung

Die vorausgehend dargestellten Gesetze der optischen Abbildung gelten in aller Strenge nur für ein in Richtung der optischen Achse einfallendes und sehr dünnes Lichtstrahlenbündel. Bei den tatsäch-

lich vorhandenen Strahlenbündeln, die durch die volle Öffnung einer Linse, oft unter beträchtlicher Neigung gegen ihre optische Achse, einfallen, ergeben sich Abweichungen von der idealen Abbildung, deren Gesamtheit man als Abbildungsfehler oder Bildfehler bezeichnet[6].

Ein Hauptteil der Fehler ist von der Gestalt der brechenden Flächen abhängig, und da diese meist Kugelflächen sind, spricht man von sphärischer Abweichung im weiteren Sinn. Weil diese Fehler schon bei einfarbigem Licht auftreten, nennt man sie auch monochromatische Abweichungen.

Der zweite Hauptteil, die chromatische Aberration oder Farbenabweichung, ist eine Folge der unterschiedlichen Brechungsverhältnisse für farbige Lichtstrahlen.

Nachfolgend werden diese Fehler und die Maßnahmen zu ihrer bestmöglichen Behebung kurz erläutert.

14,1 Sphärische Aberration im engeren Sinn

Die Randstrahlen eines Lichtbündels (Abb. 33), das eine Linse konzentrisch zu ihrer optischen Achse durchdringt, schneiden diese in einem kürzeren Abstand von der Linse als die achsnahen Strahlen.

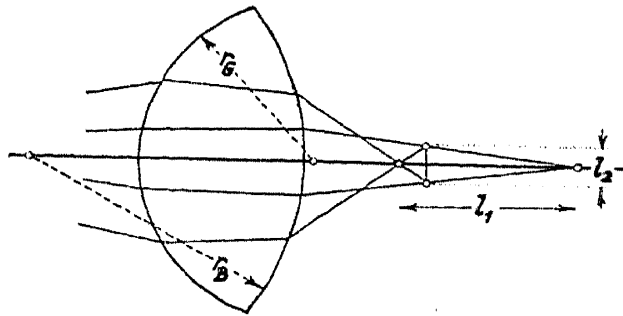



Abb. 33.

Hiedurch entsteht ein Abbildungsbereich innerhalb des Betrages der sphärischen Längsabweichung l_1 auf der optischen Achse und des zu ihr normal stehenden Abweichungskreises mit dem Durchmesser l_2. In diesem Gesamtfeld der sphärischen Aberration im engeren Sinn treten an Stelle des idealen Bildpunktes daher Bildscheibchen (Zerstreuungskreise) auf, die am Ort von l_2 maximale Bildunschärfe bewirken.

Wenn man aus einer Glassorte mit dem Brechungskoeffizienten n eine Linse so herstellt, daß die Radien r_B bzw. r_G der dem Bild bzw. dem Gegenstand zugewendeten Kugelflächen dem folgenden Verhältnis entsprechen, nämlich

$$r_B : r_G = (2n^2 + n) : (4 + n - 2n^2),$$

dann erreicht bei dieser sogenannten Linse bester Form die sphärische Längsabweichung ihren Kleinstwert[7].

Für $n = 1,5$ ergibt sich z. B. $r_B = 6 r_G$ und man darf als Faustregel merken, daß auch jede plankonvexe Linse, in roher Näherung, als eine Linse guter Form gelten kann, wenn ihre Kugelfläche dem Gegenstand zugewendet ist.

Durch Verbindung von zwei oder mehreren Einzellinsen zu einer Linsenkombination ergibt sich, über die weitgehende Variationsfähigkeit ihrer Krümmungsradien und Abstände, eine weitere Möglichkeit zur Verminderung der sphärischen Aberration des Systems.

Wenn die sphärische Längsabweichung einer solchen Kombination z. B. für die äußersten Randstrahlen und die optische Achse beseitigt ist, so verbleiben für alle übrigen Zwischenstrahlen noch Restfehler höherer Ordnung, die man meist als Funktion der Einfallshöhe, d. h. des Strahlenabstandes von der optischen Achse, ausdrückt und darstellt.

14,2 Astigmatismus, Bildfeldwölbung, Koma

Als Astigmatismus (Punktlosigkeit) bezeichnet man jene Undeutlichkeit, die bei Abbildung eines Punktes außerhalb der optischen Achse durch schiefe Lichtbündel kleiner Öffnung entsteht.

Denken wir uns an Stelle eines Hauptstrahles *PH* ein gleichgerichtetes endlich dünnes Strahlenbündel, so muß zufolge des Brechungsgesetzes jeder Strahl des in der Papierebene liegenden Büschels, nach seiner Brechung, den Hauptstrahl *HP'* im Bildraum schneiden. Dieser Schnittpunkt nähert sich bei enger Blende des Bündels einem Bildpunkt P_T'.

Betrachtet man die ähnlichen Verhältnisse in einer Ebene, die durch den Hauptstrahl *PH* senkrecht zur Papierebene gelegt wird, so schneiden auch hier die Strahlen dieses zweiten Büschels den Hauptstrahl, u. zw. in Punkten, die sich bei enger Blende dem Bildpunkt P_S' nähern.

Ein Strahl des Bündels, der in keiner der beiden Ebenen liegt, schneidet den Hauptstrahl *HP'* im Bildraum überhaupt nicht. Es ergeben sich daher im allgemeinen die beiden erwähnten Bildpunkte P_T' bzw. P_S' außerhalb der *Gauß*schen Bildebene *B* auf der tangentialen bzw. sagittalen Bildschale *T* bzw. *S* (Abb. 34 d).

Verfolgen wir den Verlauf des Bündels im Bildraum mit einer Auffangebene, so erkennt man, daß in P_T' eine waagrechte, in P_S' eine lotrechte Bildstrecke und in allen Zwischenstellungen ein elliptisches bzw. einmal kreisförmiges Bildscheibchen entsteht[8].

Von einer achsnormalen Gegenstandsebene (Abb. 34 a) werden daher alle achskonzentrischen Kreise K auf der tangentialen Bildschale T (Abb. 34 d), alle vom Achspunkt ausgehenden Geraden G der gleichen Dingebene aber auf der sagittalen Bildfläche S scharf abgebildet. Mit wachsendem Achsabstand der Schnittpunkte P zwischen den Kreisen und Geraden vergrößert sich die astigmatische Differenz der zugeordneten Bildpunkte P_T' und P_S', so daß die Unschärfe (Abb. 34 b, c) der Kreise K' bzw. ihrer Durchmesser G auf der den beiden Bildschalen T, S gemeinsamen Tangentialebene B (Abb. 34 d) im quadratischen Verhältnis zum Achsabstand rasch zunimmt[9].

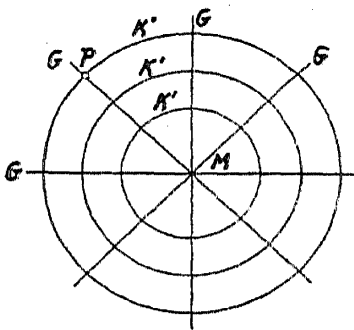
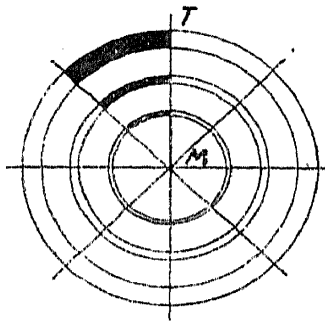
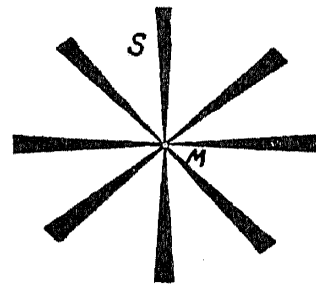
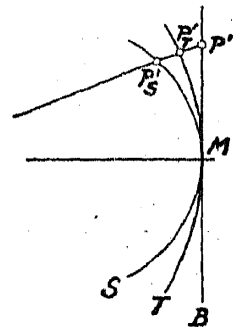



Abb. 34a. Abb. 34b. Abb. 34c. Abb. 34d.

Durch geeignete Verbindung von sammelnden und zerstreuenden Flächen gelingt es, die beiden Punkte P_T' und P_S' zusammenzulegen. Da sich dann auch alle nicht in den beiden ausgewählten Ebenen liegenden Strahlen in diesem Punkt vereinigen, erhält man eine in erster Größenordnung scharfe, punktuelle oder anastigmatische Abbildung des Dingpunktes.

Diese Aufhebung des Astigmatismus ist bei den Linsenfolgen der modernen Aufnahmeobjektive mit sehr großem Gesichtsfeld (Weitwinkelobjektive) [34], [38,21] von besonderer Bedeutung.

Auch bei durchgeführter astigmatischer Verbesserung ($P_T' \equiv P_S'$) wird eine achsnormale Dingebene nicht wieder als Ebene abgebildet, sondern als eine Umdrehungsfläche (Bildschale), deren Bildfeldwölbung nur durch Linsenfolgen von bestimmter Anlage und Anordnung behoben werden kann.

In vielen Fällen, namentlich bei Beobachtung mit den Augen, aber auch bei manchen photographischen Objektiven, genügt es, wenn die beiden erwähnten Punkte P_T' und P_S' möglichst geringen, gleich großen Abstand von der zwischendurch verlaufenden *Gauß*schen Bildebene B haben. Eine solche Linsenfolge besitzt dann sog. Bildfeldebnung im übertragenen Sinn[10].

Mit weit geöffneten Strahlenbündeln wird ein Dingpunkt, auch bei behobenem Astigmatismus, nicht punktuell, sondern durch Flä-

chen abgebildet, die in einer Spitze einen hervorstechend hellen Punkt gemeinsam haben und in der Auffangfläche eine pfeilspitz-kometenartige Figur auftreten lassen. Diese als Koma bezeichnete Erscheinung ist bei den modernen mehrlinsigen Kombinationen weitestgehend ausgeschaltet.

14,3 Verzeichnung

Hierunter versteht man jene Abweichungen von der *Gauß*schen Abbildung, die nicht deren Schärfe, sondern die Form des in einer achsnormalen Auffangebene entstandenen Bildes betreffen.

Wird von einem Dingquadrat, dessen Mittelpunkt auf der optischen Achse liegt, die Diagonale stärker vergrößert als die Seite, so entsteht kissenförmige, im Gegenfall jedoch tonnenförmige Verzeichnung, wobei jedesmal alle Dingseiten gekrümmt erscheinen. Eine Behebung der Verzeichnung ist bei einfachen Linsen im allgemeinen unmöglich und jeder Brillenträger kann durch Kopfbewegung feststellen, daß eine Brille für Weitsichtigkeit kissenförmig, eine solche für Kurzsichtigkeit aber tonnenförmig verzeichnet.

Bei den verwickelten Linsenfolgen moderner Meßbildobjektive [34] ist die Verzeichnung weitgehend behoben, so daß die Gleichheit der Strahlenneigung im Gegenstands- und Bildraum bis auf geringe Restfehler, die Verzeichnungsfehler, gegeben ist. Ihre Größe und ihren Verlauf stellt man als Funktion des Strahleneinfallswinkels, oder auch des Achsabstandes der entsprechenden Bildpunkte, durch sog. Verzeichnungskurven dar. Zumeist wird die Verzeichnung für einen bestimmten Einfallswinkel vollständig behoben. Innerhalb des zugeordneten Bildkreises sind dann z. B. nach auswärts gerichtete Restfehler von etwa bis zu 0,01 mm vorhanden, während für das übrige Bildfeld eine zur Achse gerichtete Restverzeichnung besteht[11].

14,4 Vignettierung, Helligkeitsabfall

Durch Fassungsteile und Linsenränder wird ein Teil des vom Dingpunkt kommenden und die Eintrittspupille durchsetzenden Lichtes abgeschnitten. Den durch teilweise Reflexion nach außen eintretenden Lichtverlust vermindert man bei modernen Objektiven für photographische Zwecke durch einen sog. „Blaubelag", der, zufolge einer Mitteilung der *C. P. Goerz, G.m.b.H.*, nun auch bei deren Vermessungsinstrumenten Anwendung findet[11a].

Das durch den hinteren Teil der Linsenfolge entworfene Bild der Öffnungsblende, die Austrittspupille, erleidet hiedurch eine Querschnittsänderung, vom Kreis in der optischen Achse bis zu spaltförmiger Form am Bildrand, die man als Vignettierung bezeichnet.

Der durch die Einschnürung der Austrittspupille gegen den Bildrand hin eintretende Helligkeitsverlust verursacht eine randwärts zunehmende Unterbelichtung von in der Bildmitte richtig belichteten photographischen Schichten, die insbesondere bei Luftbildaufnahmen mit Weitwinkelobjektiven [34], [38,21] merkbar wird.

Im gleichen Sinne wirkt der mit steigendem Einfallswinkel α der Lichtstrahlen an sich gegebene Helligkeitsabfall von der Bildmitte zu seinem Rand zufolge der größeren Entfernung seiner Bildstellen von der Objektivmitte. Die hiedurch bedingte Helligkeitsabnahme ist proportional $\cos^4 \alpha$, so daß Strahlen, die gegen die optische Achse unter $\alpha \doteq 33^0$ einfallen, nur mehr halb so helle Bilder vermitteln wie Strahlen, die in Richtung der optischen Achse verlaufen[12].

Während der Einfluß der Vignettierung dadurch verminderbar ist, daß man den Durchmesser der äußeren Linsen größer wählt als den der meist in der Objektivmitte angeordneten Blende, muß der mit der Strahlenneigung an sich verbundene Helligkeitsabfall hingenommen werden.

14,5 Chromatische Aberration

Jeder weiße Lichtstrahl wird durch Brechung in das primäre Spektrum mit den hervorstechenden Farbengruppen rot, orange, gelb, grün, blau, violett zerlegt. Da der Brechungskoeffizient n für

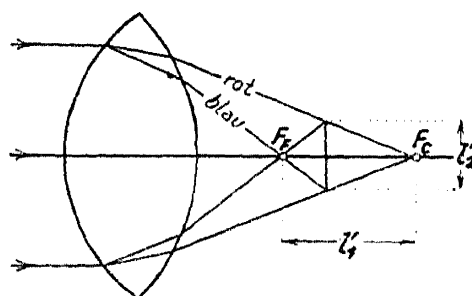



Abb. 35.

farbige Lichtstrahlen in der obigen Reihenfolge zunimmt, verringern sich, infolge [13], Gl. (1), die zugehörigen Brennweiten und es entsteht auf der optischen Achse jeder Einzellinse eine Folge farbiger Brennpunkte, deren roter von der Linse den größten Abstand hat (Abb. 35).

Die optische Wirkung verschiedener Glassorten kennzeichnet man durch die Brechungskoeffizienten n_C, n_D, n_F der im roten, gelben, blauen Farbteil des Spektrums liegenden *Frauenhofer*schen Linien C, D, F; z. B. für je eine Sorte schwächerbrechendes Kronglas und stärker brechendes Flintglas:

Kronglas: $n_C = 1{,}5154$, $n_D = 1{,}5179$, $n_F = 1{,}5240$; $dn = n_F - n_C = 0{,}0086$,
Flintglas: $n_C' = 1{,}6153$, $n_D' = 1{,}6202$, $n_F' = 1{,}6340$; $dn' = n_F' - n_C' = 0{,}0187$.

Aus [13], Gl. (1) ergibt sich, daß jede Änderung dn des Brechungskoeffizienten n einer Linse mit der Brennweite f diese überführt in $f + df$, wobei

$$df = -f \frac{dn}{n-1} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

Betrachten wir eine aus dem obigen Kronglas geschliffene Linse mit der Brennweite $f = 200$ mm, so gilt dieser Wert übereinkömmlich für das bei Augenbeobachtungen wirksamste gelbe Licht mit dem Brechungskoeffizienten n_D.[13]

Wendet man nun die vorige Gl. (1) auf rotes (n_C) bzw. blaues (n_F) Licht an, so ergeben sich die entsprechenden Brennpunkte F_C, F_D, F_F in den folgenden Brennweiten:

$$f_C = 200{,}97 \text{ mm}, \quad f_D = 200 \text{ mm}, \quad f_F = 197{,}64 \text{ mm}.$$

Denken wir uns eine Auffangebene in F_F, so wird sie von den roten und gelben Strahlen außerhalb der optischen Achse getroffen, und um den blaufarbigen Brennpunkt entsteht ein gelbroter Farbring. Befindet sich die Bildebene aber in dem durch Augbeobachtung am schärfsten auffaßbaren Brennpunkt F_D der gelben Strahlen, dann ist der ihn umgebende Farbrand weniger erkennbar, bewirkt aber eine allgemeine Undeutlichkeit. In ähnlicher Weise äußert sich die Farbenabweichung bei der Abbildung oder Beobachtung von endlich entfernten Dingpunkten und wir sehen, daß die Aufhebung der chromatischen Längsabweichung l_1' (Abb. 35) auch für Augbeobachtung, insbesondere aber für die photographische Abbildung von größter Bedeutung ist.

Zufolge der ersten Formel von Gl. (4) zu [13] ergibt sich für zwei knapp ($a = 0$) hintereinanderstehende Linsen mit den Brennweiten f_1, f_2 die Äquivalentbrennweite:

$$F = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2} \quad \text{oder} \quad \frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

Unterscheiden wir ihre Brechungskoeffizienten n_i ($i = C, D, F$) durch die Indizes 1,2 und rechnen die Brennweiten F_F für blaues bzw. F_C für rotes Licht, so findet man mit Hilfe von [13], Gl. (1)

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{F_F} &= (n_{F_1} - 1)\, k_1 + (n_{F_2} - 1)\, k_2 \\ \frac{1}{F_C} &= (n_{C_1} - 1)\, k_1 + (n_{C_2} - 1)\, k_2 \end{aligned}\right\} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (3)$$

Damit die sphärische Längsabweichung für *C*- und *F*-Licht verschwindet, muß sein $F_F = F_C$, und durch Subtraktion der beiden obigen Gleichungen (3) erhalten wir die Beziehung

$$(n_{F_1} - n_{C_1})\, k_1 + (n_{F_2} - n_{C_2})\, k_2 = 0 \quad \ldots \ldots \quad (4)$$

oder auch

$$k_1 : k_2 = -(n_{F_2} - n_{C_2}) : (n_{F_1} - n_{C_1}) \quad \ldots \ldots \quad (5)$$

als Bedingung für Aufhebung der blau-roten Längsabweichung.

Auch bei einer solchen achromatischen Linsenkombination treten noch Farben-Restfehler als sog. sekundäres Spektrum auf, die nur durch kostspielige Glasschmelzen besonderer Zusammensetzung beseitigbar sind[14].

Man legt daher im allgemeinen immer jene Lichtstrahlen zusammen, die für den beabsichtigten Zweck von Bedeutung sind und erreicht z. B. durch die geschilderte Maßnahme $F_C \equiv F_F$, daß die für Augenbeobachtung wichtigsten und hellsten Strahlen auf ein möglichst kleines Gebiet zusammengedrängt werden.

Bei einem Spezialobjektiv für Infrarot-Photographie ist daher die rot-infrarote Strahlengruppe zusammengefaßt, wobei dafür Sorge getragen werden muß, daß die infrarotempfindliche Schichte in die Ebene des rot-infraroten unsichtbaren Bildes gestellt ist. Würde man nun zur Aufnahme eine gewöhnliche, z. B. orthochromatische Platte verwenden, so entstünde auf ihr ein unscharfes Bild, denn die auf sie besonders einwirkenden sichtbaren Strahlen erzeugen den Bildpunkt schon vor der Auffangebene und nicht auf ihr. Die weiter oben erwähnten farbigen Bildränder verursachen eine zusätzliche Verschlechterung der Bildgüte[15].

Als Zerstreuungsvermögen oder relative Dispersion einer Glassorte bezeichnen wir den Ausdruck

$$\frac{n_F - n_C}{n_D - 1} = \frac{d\,n}{n_D - 1} = \frac{1}{\nu} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (6)$$

Für die weiter vorne angegebenen Sorten ergeben sich z. B. die Werte

Kronglas: $\nu = 60{,}22$ Flintglas: $\nu' = 36{,}27$

Wir merken, daß im allgemeinen Flintglas ein doppelt so großes Zerstreuungsvermögen als Kronglas besitzt.

Die mit voriger Gl. (5) angegebene Achromasiebedingung für zwei knapp hintereinanderstehende Linsen kann auch in der Form

$$/f_1 \nu_1 / = / f_2 \nu_2 / \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (7)$$

geschrieben werden[16]. Da die Aneinanderfügung sehr oft durch Kittung mit Kanadabalsam erfolgt, sind alle Objektive gegen

rasche Temperaturänderung und direkte Sonnenbestrahlung zu schützen. Achromasie tritt auch ein, wenn beide Linsen als sogenannte dialytische Kombination im Abstand

$$a = \frac{f_1 \nu_1 + f_2 \nu_2}{\nu_1 + \nu_2} \qquad (8)$$

gefaßt werden. Wählt man, wie etwa bei einfachen Okularen, gleiche Glassorten ($\nu_1 = \nu_2$), dann ergibt sich[17]

$$a = \frac{f_1 + f_2}{2} \qquad (9)$$

Eine Linsenkombination, die nur hinsichtlich Farbenabweichung verbessert (achromatisiert) ist, heißt Achromat; ist sie auch sphärisch korrigiert (frei von Kugelgestaltfehlern), so wird sie Aplanat genannt. Bei einem Apochromat ist das sekundäre Spektrum für einen bestimmten Zweck auf ein Minimum gebracht[18].

15 Das menschliche Auge und seine Fähigkeiten

Das über die Hornhaut und das Kammerwasser eindringende Licht wird durch die Iris abgeblendet, deren Durchmesser von etwa 2 mm bei Tagessehen bis 8 mm bei Dämmerungs- und Nachtsehen veränderlich ist. Die normale Augenlinse besitzt eine äußere bzw. innere Brennweite von rund 17 bzw. 23 mm und entwirft über den das Augeninnere erfüllenden Glaskörper ein Bild auf dem gelben Fleck (von etwa 1,5—2 mm Durchmesser) der Netzhautgrube.

Diese enthält Zapfenzellen (für Empfindung von Schärfe und Farbe) neben Stäbchenzellen (insbesondere zur Auffassung von Helligkeit und Bewegung) in wabenartiger Anordnung derart, daß in der Mitte der Netzhautgrube etwa das Verhältnis Zapfen : Stäbchen $\doteq$ 10 : 1 vorhanden ist, während gegen den Rand hin sich ungefähr das reziproke Verhältnis einstellt. Bei aufmerksamer Betrachtung wird das hiebei in die Mitte der Netzhautgrube verlegte Bild insbesondere hinsichtlich Schärfe und Färbung beurteilt, während bei gewöhnlichem umfassendem Blick, durch die erweiterte Heranziehung des Randteiles der Netzhautgrube, die Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede und Bewegungen gesteigert ist.

Das Sehen mit Hilfe der Stäbchenzellen gleicht dem des Farbenblinden. Bei der Beobachtung in beginnender Dämmerung tritt Übergang von Hell- auf Dunkeladaption ein durch Vergrößerung der Pupille und vermehrter Benützung der am Rand des gelben

Fleckes dichter gelagerten Stäbchenzellen. Wir sehen daher am Anfang der Dämmerung vorerst noch mit dem farbentüchtigen, zu scharfer Formerkennung besonders befähigten, aber starken Lichtreiz erfordernden Tagesapparat der Grubenmitte, später aber nur mehr mit dem farbenblinden, die Form unscharf erkennenden, jedoch sehr lichtempfindlichen Dämmerungsapparat des Randes der Netzhautgrube[19].

Der Durchmesser der Netzhautzellen beträgt beim normalsichtigen Auge in der Grubenmitte etwa 4, am Rand hingegen nur ungefähr 2 Mikron.

Ein gesundes Auge vermag durch Akkommodation die Krümmung der Linsenflächen zu ändern und dadurch die äußere Brennweite von 17 mm im Ruhezustand auf etwa 14 mm bei ergiebigster Akkomodation zu verringern, so daß Gegenstände in verschiedener Entfernung nacheinander scharf gesehen werden können.

Bezeichnet man den Achsenpunkt, auf den das Auge in Akkommodationsruhe eingestellt ist, als Fernpunkt R und den bei äußerster Akkommodationsanstrengung als Nahpunkt P, so ist durch ihren Abstand die sog. Akkommodationsbreite bestimmt. Beim normalsichtigen (emmetropischen) Auge verschiebt sich der Nahpunkt von etwa 10 cm in der Jugend, bis auf 40 cm im Alter von 50 Jahren, während der Fernpunkt unendlich weit liegt.

Beim kurzsichtigen (myopischen), zu lang gebauten Auge erreicht das noch im Glaskörper entstehende Bild die Netzhautgrube nicht und muß durch eine Zerstreuungslinie dorthin weitergerückt werden.

Für das weitsichtige (hyperopische) Auge mit zu kurzer Achse wird das hinter der Netzhautgrube entworfene Bild durch eine Sammellinse vorverlegt[20].

15,1 Trennungsvermögen und Zielgenauigkeit[21]

Zwei Punkte werden nur dann getrennt und scharf gesehen, wenn ihre Bilder mindestens durch eine Netzhautzelle getrennt sind, d. h. voneinander etwa 4 Mikron abstehen. Dieser Entfernung, im Verhältnis zur vorne erwähnten inneren Brennweite der Augenlinse, entspricht ein Zielwinkel ξ_P von mindestens 35″. Unter Berücksichtigung von physiologischen Verschiedenheiten, geringerer Übung und möglichen Ermüdungserscheinungen nimmt man meist an $\xi_P \doteq 60''$.

Wesentlich genauer als diese punktuelle Sehschärfe (punktuelles Trennungsvermögen) ist die Breitenwahrnehmung ξ_B, d. h. die Erkennbarkeit seitlicher Stärke- oder Lagever-

schiedenheiten von Strichen, die etwa mit $\xi_B = 10''$ angenommen werden kann und für die Beurteilung von Strichkoinzidenzen [18,252] von besonderer Wichtigkeit ist, wie sie bei Noniusablesung, Stricheinfassung mit parallelen Fäden usw. erforderlich ist. Durch Vermehrung der Strichzahl einer Teilung nimmt das Breitenauflösungsvermögen zu, d. h. die Empfindung für Strichkoinzidenzen wird durch Nachbarstriche beträchtlich unterstützt[22].

Die Erfahrung zeigt, daß das Trennungsvermögen durch Anwendung von sog. Diopterm (Spaltabsehen) bis auf ein Drittel des angegebenen Betrages gesteigert werden kann.

15,2 Scharfsehen

Ist das Auge auf einen Punkt P in bestimmter Entfernung A eingestellt (akkommodiert), so werden andere Punkte P' in der gleichen Blickrichtung so lange scharf gesehen, als sie innerhalb eines

Abb. 36.

gewissen Bereiches um P, nämlich innerhalb der sog. Tiefe scharfer Abbildung liegen[23]. Unscharfe Abbildung, d. h. Zerfall des Punktbildes und Entstehung von Zerstreuungskreisen auf der Netzhaut, tritt dann ein, wenn ein Dingpunkt unter einem größeren als dem angegebenen Zielwinkel ξ_P erscheint. Sind in Abb. 36 E_n und E_w die Grenzflächen des Tiefenbereiches der scharfen Abbildung und D der Durchmesser der Eintrittspupille, so werden die dem Punkt P in der Ebene E entsprechenden Kreise Z_n bzw. Z_w in E_n bzw. E_w so lange punktförmig gesehen, als ihre Durchmesser höchstens den Zielwinkel ξ_P entstehen lassen.

Befindet sich ganz allgemein vor dem Auge noch ein optisches Hilfsmittel mit der Vergrößerung V, so kann die Tiefe der scharfen Abbildung aus der folgenden Beziehung berechnet werden, nämlich

$$\frac{1}{A - a_w} - \frac{1}{A + a_n} = \frac{2\,\xi_P}{D \cdot V}.$$

Blickt z. B. das freie Auge ($\xi_P = 1'$, $D = 4$ mm, $V = 1$) in sehr weite Ferne ($A + a_n = \infty$), so ergibt sich mit $\varrho' = 3438'$ [2,1] der

Betrag $A - a_w \doteq 7$ m. Die Tiefe des scharfen Sehens erstreckt sich daher von ∞ bis 7 m.

Als deutliche Sehweite bezeichnen wir den für scharfe Erkennung von Einzelheiten günstigsten Betrachtungsabstand mit im Durchschnitt geläufigster Akkommodation. Diese deutliche Sehweite beträgt bei normalsichtigen Augen etwa 25 cm und bedingt den für scharfes Sehen größtmöglichen Konvergenzwinkel der Augenachsen von rund 15°.

15,3 Räumliches Sehen[24]

Die einäugige (monokulare) Schätzung von Entfernungen und Entfernungsunterschieden erfolgt durch überlegte Verbindung von Seheindrücken und Erfahrungstatsachen, wobei der den verschiedenen Entfernungen zugeordnete Akkommodationssprung unbewußt als ziemlich mangelhaftes Beurteilungsmaß verwendet wird.

Das beidäugige (binokulare) Sehen vermittelt die Erkennung von Entfernungsunterschieden in viel vollkommenerer Weise und ohne Überlegung, über den menschlichen Raumsinn, als unmittelbaren Tiefeneindruck, mit besonderer Feinheit und Sicherheit.

Dieser Tiefeneindruck ist eine Folge der perspektivisch verschiedenen Netzhautbilder beider Augen, wobei für seine Entstehung und Empfindung die zum Augenabstand parallelen Lagenverschiedenheiten der Teilbilder maßgebend ist.

Werden von den beiden Augenorten aus zwei photographische Aufnahmen eines Gegenstandes hergestellt und hernach den beiden Augen wieder so dargeboten, daß sie ihnen unter dem gleichen Winkel und in derselben Lage erscheinen, wie vorher der Gegenstand, so bewirkt die Betrachtung der Bilder den gleichen Raumeindruck, wie der beidäugige unmittelbare Anblick des Gegenstandes.

Abb. 37a. Abb. 37b. Abb. 38.

In den Abb. 37 a, b ist dieses Raumsehen im natürlichen Raum bzw. die Raumrekonstruktion aus zwei zusammengehörigen Teilbildern, bei beidäugiger Betrachtung, dargestellt. Der Größenunterschied ($b_1' a_1' — a_2' b_2'$) der zusammengehörigen Netzhautbilder von Abb. 37 a ist als sog. physiologische Horizontalparallaxe ebenso ein Maß für die Entfernung AB, wie die entsprechende geometrische Horizontalparallaxe ($a_1 b_1 — b_2 a_2$) der zusammengehörigen Teilbilder des Bildpaares.

Bei Akkommodation auf einen Punkt P, nahe der Blickrichtung im Abstand D (Abb. 38) konvergieren die Augenachsen unter dem Winkel γ der binokularen Parallaxe, wobei

$$\operatorname{tg} \gamma \doteq \gamma = \frac{b}{D} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Der Parallaxenunterschied $d\gamma = \gamma - \gamma'$ für zwei Punkte P, P' im Abstand $dD = D—D'$ ergibt sich dann aus obiger Gl. (1) mit

$$d\gamma = -\frac{b}{D^2} dD \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

und ist maßgebend für die Wahrnehmung von dD.

Der vom normalen freiblickenden Auge eben noch erfaßbare Parallaxenunterschied, die sog. stereoskopische Sehschärfe, entspricht dem in [15,1] erwähnten Grenzwert der Breitenwahrnehmung $\xi_B \doteq 10''$. Es wird daher das Unterscheidungsvermögen für Tiefen- und Entfernungsunterschiede im Raum bis zu jener Grenzentfernung G reichen, bei der der parallaktische Winkel γ auf den obigen Grenzwert ξ_B gesunken ist. Für den Augenabstand $b = 65$ mm erhalten wir $G \doteq 1300$ m.[25]

Dieser sog. stereoskopische Radius des binokularen Sehens verringert sich bei physiologisch bedingter Vergrößerung von ξ_B u. U. bis auf ein Drittel des angegebenen Betrages.

Die Erkennbarkeit von Tiefenunterschieden nimmt ab, wenn die Vergleichspunkte untereinander der Tiefe nach zu weit abstehen, oder aber, wohl vergleichsgünstig, jedoch sehr weit seitlich aus der Blickrichtung liegen.

An Stelle des tiefenrichtigen Raumeindruckes (Orthoskopie) tritt tiefenverkehrte oder pseudoskopische Wahrnehmung z. B. dann ein, wenn die oben erwähnten, den beiden Augorten entsprechenden Lichtbilder desselben Gegenstandes vertauscht werden, man also dem linken Auge das rechte Bild darbietet und umgekehrt. Es erscheinen dann Vorsprünge als Vertiefungen.

Wird der normale Abstand ($\overline{0_1 0_2} = b = 65$ mm) der Augenachsen (durch Spiegel oder Prismen) k-mal erweitert auf $\overline{0_1 0_2'}$, so

wird die Erkennbarkeit von Tiefenunterschieden (Körperlichkeit) k-mal gesteigert ($T' = k \cdot T$, spezifische Plastik k) (Abb. 39).

Bei Verwendung eines optischen Hilfsmittels mit der Vergrößerung V erscheint der Gegenstand V-mal nähergerückt, seine relative Breiten- und Höhenerstreckung bleibt unverändert. Die Tiefenerstreckung wird jedoch V-mal verringert wiedergegeben, wodurch statt des raumrichtigen (o r t h o m o r p h e n) ein raumverzerrter (h e t e r o m o r p h e r) Eindruck entsteht (Abb. 40).

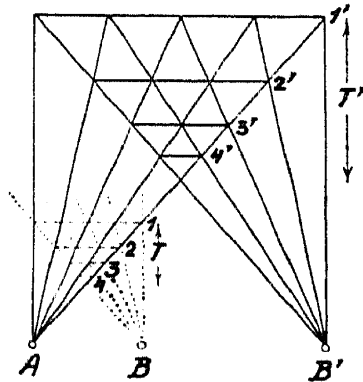
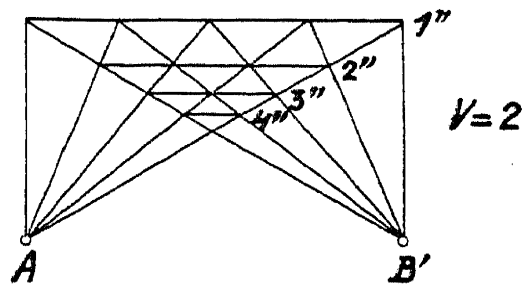



Abb. 39. Abb. 40.

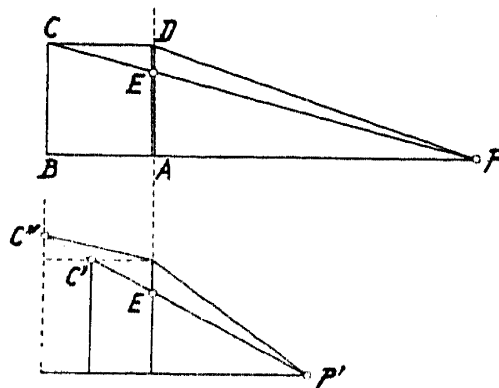



Abb. 41.

Ähnliche Störungen des Raumeindruckes ergeben sich bei Betrachtung von Fernbildern (Tele-Aufnahmen) aus zu kleinem Abstand. Die fernen Gegenstände erscheinen zu groß und das Bild daher flach, kulissenhaft. In Abb. 41 ist ein Gegenstand $ABCD$ aus P in AED abgebildet. Wird bei Vergrößerung oder aus zu kleinem Abstand betrachtet, so erscheint C' (auf $P'E$) entweder nahegerückt, oder C'' hochgehoben[26].

Durch Benutzung eines Doppelfernrohres (Vergrößerung V) [16,54] mit einem Objektivabstand $k \cdot b$, entsteht ein in der Quere k-fach und in der Tiefe $k \cdot V$-fach verkleinertes Raumbild, so daß die Tiefenunterscheidung $k \cdot V$-fach gesteigert ist und sich die totale Plastik $k \cdot V$ ergibt.

16 Optische Hilfsmittel geodätisch-photogrammetrischer Instrumente

In diesem Abschnitt behandeln wir die wichtigsten Eigenschaften von verschiedenen optischen Bestandteilen sowie einige Hinweise und Maßnahmen für ihre praktische und zweckmäßige Benutzung.

16,1 Lupe, Okulare [27]

Für den in [13] angegebenen Lupenverwendungsbereich einer Einzellinse oder einer mehrlinsigen Kombination mit der Äquivalentbrennweite F entsteht das Bild B mit dem Strahlengang entsprechend Abb. 42 virtuell, nicht auffangbar im Gegenstandsraum. Seine Bildweite ist daher in der allgemeinen Abbildungsgleichung, nämlich [13] Gl. (2), negativ zu zählen und wir erhalten

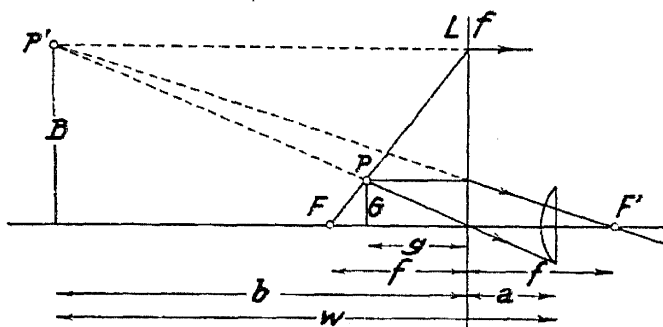



Abb. 42.

$$\frac{1}{g} - \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \qquad (1)$$

Sucht man hieraus jene Gegenstandsweite g, die das Bild in die deutliche Sehweite w des Beobachters verlegt, dann ergibt sich (mit $b = w - a$, wo a den Abstand der Augenpupille von der Lupe bedeutet)

$$g = \frac{f\,b}{b + f} = \frac{f}{1 + \dfrac{f}{w - a}} \qquad (2)$$

Für $f = 5$ cm, $a = 0$ (Auge knapp an der Lupe) und die einem Normalsichtigen bzw. ziemlich Kurz- und Weitsichtigen zugeordneten Werte $w_n = 25$ cm, $w_k = 10$ cm, $w_w = 40$ cm erhalten wir $g_n \doteq 42$ mm, $g_k \doteq 33$ mm, $g_w \doteq 44$ mm und schließen hieraus:

Hat ein normalsichtiger Beobachter eine Lupe scharf auf einen Gegenstand eingestellt, dann muß ein Kurzsichtiger diese Lupe stets dem Gegenstand nähern, ein Weitsichtiger sie aber immer vom Gegenstand abrücken, um gleichfalls ein scharfes Bild zu erhalten.

Bezeichnet man mit ψ den Winkel, unter dem der Gegenstand G bei scharfer Erkennung seiner Einzelheiten mit freien Augen (d. h. in der deutlichen Sehweite w) erscheint, mit φ indessen den Sichtwinkel bei Betrachtung des von der Lupe erzeugten Bildes, das dann auch in der deutlichen Sehweite w liegt, so erhalten wir, im Sinne der bereits in [13] gegebenen Definition, die Vergrößerung

$$V \doteq \frac{\varphi}{\psi} \doteq \frac{tg\,\varphi}{tg\,\psi} = \frac{B:w}{G:w} = \frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad \ldots \ldots \quad (3)$$

Ersetzen wir hier g durch die erste Beziehung von obiger Gl. (2), so entsteht

$$V = \frac{b+f}{f} = \frac{w-a+f}{f} = \frac{w}{f} - \frac{a}{f} + 1 \quad \ldots \ldots \quad (4)$$

Die mit ein und derselben Lupe erzielbare Vergrößerung ist daher mit der deutlichen Sehweite veränderlich und weiters vom Augenabstand a abhängig. Wird das Auge knapp hinter die Lupe gehalten ($a = 0$), so erhält man bei größtmöglichem Gesichtsfeld den Höchstwert der Vergrößerung, nämlich $V_{\max} = \frac{w}{f} + 1$. Bei Vermessungsgeräten wird durch Anbringung einer Blende (Augenmuschel) ein gleichbleibender und möglichst geringer Augenabstand (meist $a = \frac{f}{2}$) erzwungen.

Mehrlinsige Kombinationen, die als Lupe im vorgenannten Sinn wirken, bezeichnet man als Okulare. Sie dienen vor allem zur Betrachtung des sehr kleinen reellen Bildes B, das von einem Gegenstand G durch ein Fernrohr- oder Mikroskopobjektiv entworfen wird.

Während man die Abbildungsfehler der sphärischen Aberration, des Koma und der Farbenlängsabweichung durch entsprechenden Bau des Objektivs verbessert, werden Astigmatismus, Bildfeldwölbung, Verzeichnung und Farbenrestfehler durch zweckmäßige Okularkonstruktion behoben[28].

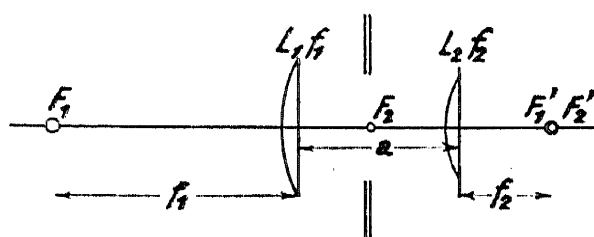
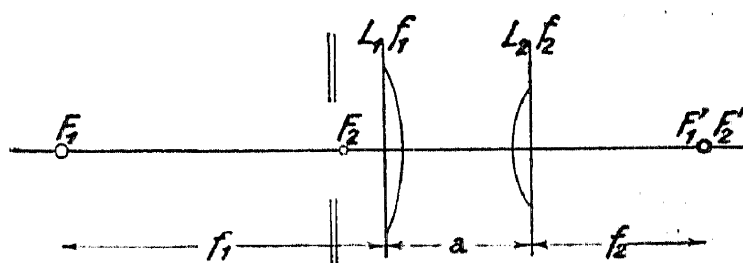



Abb. 43. Abb. 44.

Den angegebenen Zweck und die Hauptforderung, daß sich die Brennweite nicht mit der Farbe ändert, erfüllen die beiden Urformen des Okulars von *Huygens* (1703) und von *Ramsden* (1783). Sie bestehen aus je zwei plankonvexen Linsen, der objektivseitigen Vorder- oder Feldlinse (L_1) bzw. der im Abstand a folgenden Augenlinse (L_2) mit bestimmten Verhältnissen der Brennweiten f_1 bzw. f_2 und des Abstandes a, nämlich

$$\begin{rcases} \text{Okular von } \textit{Huygens} \text{ (Abb. 43) } f_1 : a : f_2 = 3 : 2 : 1 \\ \text{Okular von } \textit{Ramsden} \text{ (Abb. 44) } f_1 : a : f_2 = 9 : 4 : 5 \end{rcases} \quad \ldots \quad (5)$$

Die Äquivalentbrennweite $F = f_0$ ergibt sich in beiden Fällen mit $f_0 = \frac{f_1}{2}$ und beträgt bei Okularen von geodätischen Instrumenten zumeist etwa 8—10 mm.

Da die Feldlinse des Okulars von *Huygens* an der Entwicklung des hinter ihr entstehenden reellen Bildes B mitbeteiligt ist, befindet sich das zu seiner Ausmessung dienende Fadenkreuz zwischen der Feld- und Augenlinse, so daß diese gewissermaßen die Funktion einer einfachen Linsenlupe übernimmt.

Mit dem Okular von *Ramsden* aber wird das vor ihm entworfene Bild zugleich mit dem in seiner Ebene stehenden Fadenkreuz betrachtet.

Moderne Okulare sind stets nach Art des Okulars von *Ramsden* gebaut, wie etwa das aus 4 knapp beisammenliegenden Linsen bestehende orthoskopische Okular von *Kellner* mit sehr geringer Verzeichnung und großem Gesichtsfeld. Das monozentrische Okular von *Steinheil* besteht aus drei verkitteten Linsen, zeichnet sich durch besondere Reflex- und Komafreiheit aus, besitzt aber ein nur kleines Gesichtsfeld.

Reste von chromatischer Aberration des Objektivs sind durch sog. Kompensationsokulare fast völlig behebbar[20].

Die am Ring der Okularmuschel u. U. vorhandene Dioptrienteilung kann als Merkteilung verwendet werden für die Scharfeinstellung des Fadenkreuzes [16,5], denn die einmal erhaltene und abgelesene Okularstellung ist eine Konstante dieses Instrumentes für den betreffenden Beobachter.

16,2 Meßmikroskope

Jedes Mikroskop entwirft von einem Gegenstand G, der sich knapp vor dem dingseitigen Brennpunkt seines Objektivs befindet, ein vergrößertes reelles Bild B (Abb. 45). Bei dessen Betrachtung mit dem Okular entsteht das virtuelle, neuerlich vergrößerte Bild B' in der deutlichen Sehweite w. Die dabei erzielte Gesamtvergrößerung V ermitteln wir aus dem in [16,1] erwähnten Vergleich der Sehwinkel mit dem optischen Mittel bzw. mit freiem Auge oder durch das Verhältnis der Bildgrößen und erhalten

$$V \doteq \frac{B'}{w} : \frac{G}{w} = \frac{B'}{G} = \frac{B'}{B} \cdot \frac{B}{G} = V_2 \cdot V_1,$$

da die Ausdrücke $\frac{B}{G} = \frac{b_1}{g_1}$ bzw. $\frac{B'}{B} = \frac{b_2}{g_2}$ unter sinngemäßer Anwen-

dung der Formel (3) aus [16,1] die Vergrößerung V_1 des Objektivs bzw. V_2 des Okulars darstellen. Der Wert V_1 kann praktisch ausreichend genähert durch Abmessung von g_1 und b_1 bestimmt werden, wobei der Ort des Bildes B durch die am Mikroskoprohr außen erkennbare Fassung des Fadenkreuzes und seiner Richtschräubchen angegeben ist.

Bei einem abgestimmten Meßmikroskop soll das Bild B in der Ebene des Fadenkreuzes liegen und hinsichtlich seiner Größe einem vorhandenen Fadenkreuzintervall entsprechen. Wenn die erste For-

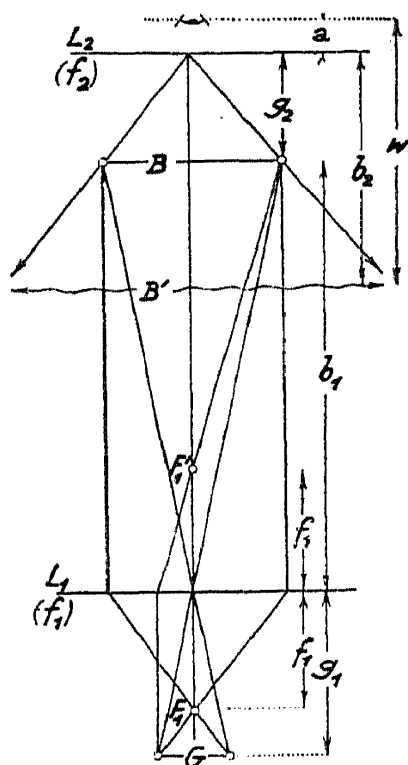



Abb. 45.

derung nicht erfüllt ist, so sprechen wir von einer P a r a l l a x e zwischen Bild und Fadenkreuz, die eine richtige und eindeutige Ausmessung des Bildes u n m ö g l i c h macht, weil durch jede Änderung der Einblickrichtung die Fadenkreuzstriche auf andere Bildstellen projiziert werden. Den Vorgang zur Herstellung beider Forderungen bezeichnet man als Berichtigung oder A b s t i m m u n g des Mikroskops.

Zur Verwendung eines Meßmikroskops für geodätische Zwecke muß die vorhandene Skalen- oder Meßschraubenlänge $S = B$ mit dem gegebenen Teilungsintervall $a = G$ übereinstimmen. Ist dies nicht der Fall ($S' = S + R$) und weist das unrichtige Mikroskop den sog. V e r g r ö ß e r u n g s f e h l e r oder R u n R auf, dann müssen die tatsächlich vorhandenen unrichtigen Größen g_1' bzw. b_1' in die rich-

tigen Werte g_1 bzw. b_1 übergeführt werden. Hiezu ermittelt man S' durch Beobachtung, sowie g_1' bzw. b_1' durch genäherte direkte Abmessung und erhält die notwendigen Änderungen aus den folgenden Beziehungen[80]

$$g_1 - g_1' = \frac{g_1'^2}{g_1' + b_1'}\left(\frac{S'}{S} - 1\right), \qquad b_1 - b_1' = \frac{b_1'^2}{g_1' + b_1'}\left(\frac{S}{S'} - 1\right),$$

z. B.: $a = 10' = S$ (Teilungsintervall a = Skalenlänge S), $S' = 10'24''$, $R = + 24''$, $g_1' \doteq 48$ mm, $b_1' \doteq 85$ mm,

$$\frac{S'}{S} \doteq 1{,}04, \quad \frac{S}{S'} \doteq 0{,}96,$$

$$g_1 - g_1' = + 0{,}7 \text{ mm}, \qquad b_1 - b_1' \doteq - 2{,}2 \text{ mm}.$$

Man hat in diesem Fall vorerst das Objektiv um 2,2 mm dem Fadenkreuz zu nähern, wodurch b_1' in b_1 übergeht und nachher das ganze Mikroskop um 1,5 mm näher an die Teilung zu schieben, womit das Objektiv in die richtige Gegenstandsweite $g_1 = g_1' + + 0{,}7$ mm gestellt ist.

Ein bei Schraubenmikroskopen meist immer noch verbleibender geringer Run wird später rechnerisch durch Anbringung der Runverbesserung [18,24] berücksichtigt.

16,3 Planspiegel, Planplatte (Plattenmikrometer)

Man benutzt den Planspiegel S (Abb. 46) zur Erzeugung oder Messung von Richtungsänderungen, denn die aus dem Reflexionsgesetz folgende Gleichheit des Eintritts- und Austrittswinkels gegen

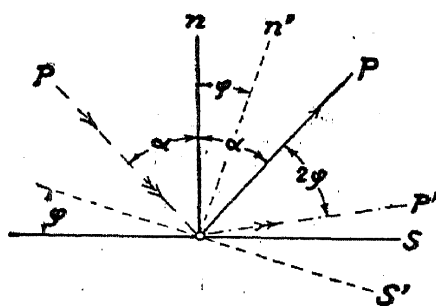
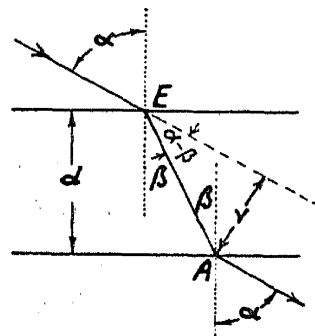



Abb. 46. Abb. 47.

das Einfallslot n bewirkt, daß eine Schwenkung φ der Spiegelebene den austretenden Strahl P um den Winkel 2φ gleichsinnig nach P' fortdreht.

Eine planparallel geschliffene Platte (Abb. 47) aus Glas[31], von der Dicke d und dem Brechungskoeffizienten n erzeugt, durch zwei-

malige Brechung des unter dem Winkel α in E auftreffenden Strahles, zufolge des Brechungsgesetzes $\sin\alpha = n \sin\beta$, in seiner Einfallebene (Hauptschnitt) eine Parallelverschiebung

$$v = \overline{EA} \sin(\alpha - \beta) = \frac{d}{\cos\beta} \sin(\alpha - \beta).$$

Beschränkt man die Einfallwinkel auf Beträge $\alpha < 30^0$, dann gilt die von *H. Wild* verwendete, praktisch hinreichend genaue Näherungsformel[32]

$$v \doteq \frac{n-1}{n} d \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Durch Verbindung der Planplatte mit einer Schwenkeinrichtung und Meßtrommel ergibt sich ihre Verwendbarkeit als optisches Mikrometer [18,252] zur sehr genauen Ausmessung von Parallelverschiebungen v, die zur Herstellung der Koinzidenz übereinanderliegender Strichteilungen notwendig werden.

Im allgemeinen ist anzunehmen, daß der Parallelschliff von Planplatten für solche optische Mikrometer bzw. von Farbfiltern für photographische Aufnahmen, mit einer Genauigkeit von bis zu $\pm 3''$ ausgeführt werden kann[33].

16,4 Prisma — optischer Keil

Ein als sog. optischer Keil (Abb. 48) unter dem kleinen Winkel e geschliffenes Prisma aus Glas mit dem Brechungskoeffizienten n bewirkt für Strahlen, die im Hauptschnitt (normal zur brechenden Kante K) unter dem Winkel α_1 gegen das Einfallslot n_1 auftreffen, nach zweimaliger Brechung eine Ablenkung um den Winkel[34]

$$\gamma \doteq e \left(\frac{n \cos\beta_1}{\cos\alpha_1} - 1 \right) \quad \ldots \ldots \ldots (1)$$

In Normalstellung des Keiles, d. h. für $\alpha_1 = 0$, $(\beta_1 = 0)$ liegt S im Austrittspunkt A der zweiten brechenden Fläche und man erhält

$$\gamma \doteq e(n - 1) \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (2)$$

Setzen wir $n \doteq \frac{3}{2}$, so findet man $\gamma \doteq \frac{e}{2}$ als Merkbetrag für spätere Abschätzungen der Keilwirkung.

Da bei jeder Brechung Farbenzerstreuung eintritt, entstehen verschiedene Ablenkungen $\gamma_i \doteq e(n_i - 1)$ und als Folge Bilder mit störenden Farbrändern. Ähnlich wie die chromatische Aberration der Linsen [14,5] kann auch diese Keilchromasie behoben werden, u. zw. durch Zusammenfügung zweier Keile, nämlich eines solchen aus

Kronglas mit dem Keilwinkel e und dem Brechungskoeffizienten n_i bzw. eines Flintglaskeiles mit den entsprechenden Werten e' und n_i'. Zufolge Abb. 49 ergibt sich für beide Keile die Gesamtablenkung $\Gamma_i = \gamma_i + \gamma_i'$ und wir erkennen, daß die bei Beobachtungen gewöhnlicher Art erforderliche Achromasie dann hergestellt ist, wenn der Winkelunterschied $d\Gamma = \Gamma_F - \Gamma_C$ der blauen (F) bzw. roten (C) Strahlen beseitigt wird.

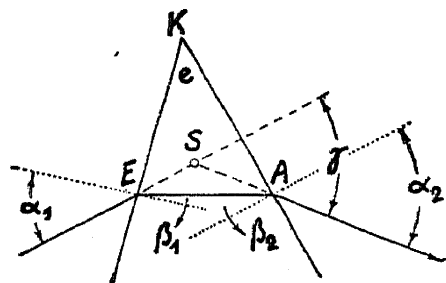
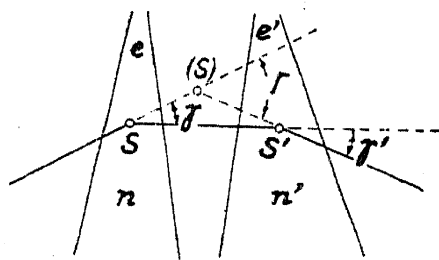



Abb. 48. Abb. 49.

Unter Beachtung der angedeuteten Zusammenhänge erhalten wir

$$\left.\begin{array}{c} \Gamma_F = \gamma_F + \gamma_F', \ \Gamma_C = \gamma_C + \gamma_C', \ d\Gamma = (\gamma_F - \gamma_C) + (\gamma_F' - \gamma_C') \\ d\Gamma = e\,(n_F - n_C) + e'\,(n_F' - n_C') \end{array}\right\} \quad (3)$$

Führt man nun die mit Gl. (6) von [14,5] angegebene relative Dispersion $\frac{1}{\nu}$ bzw. $\frac{1}{\nu'}$ der betreffenden Glassorte ein, so entsteht als Achromasiebedingung

$$d\Gamma = e\,\frac{n_D - 1}{\nu} + e'\,\frac{n_D' - 1}{\nu'} = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

und

$$e' = -e\,\frac{\nu'}{\nu}\,\frac{n_D - 1}{n_D' - 1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Das negative Vorzeichen bedeutet dabei, daß die brechenden Kanten, also die Scheitel der Keilwinkel e bzw. e' im Hauptschnitt, auf verschiedenen Seiten des Strahlenweges liegen müssen[35].

Soll schließlich noch für das bei Augenbeobachtung wirksamste gelbe (D-) Licht ein Ablenkungswinkel Γ_D von bestimmter Größe eintreten, dann führt dies zur weiteren Bedingung

$$\Gamma_D = \gamma_D + \gamma_D' = e\,(n_D - 1) + e'\,(n_D' - 1) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

und durch Vereinigung dieser Gl. (6) mit (5) erhält man die beiden gesuchten Keilwinkel aus

$$e = \frac{\Gamma_D}{n_D - 1} \cdot \frac{\nu}{\nu - \nu'}, \qquad - e' = \frac{\Gamma_D}{n_D' - 1} \cdot \frac{\nu'}{\nu - \nu'} \quad . \; . \; . \; (7)$$

Zur Verwendbarkeit für optische Distanzmessung [25, 24] fordern wir $\Gamma = \frac{\varrho''}{C} = \frac{\varrho''}{100} = 2062{,}65''$ und für die z. B. gewählten Sorten Kronglas ($n_D = 1{,}5166$, $\nu = 63{,}90$) bzw. Flintglas ($n_D' = 1{,}6206$, $\nu' = 36{,}17$) ergeben sich dann aus obigen Gl. (7) die Schliffwinkel $e = +9200{,}7''$ bzw. $e' = -4335{,}2''$.

Wenn man beachtet, daß die Genauigkeit des Anschleifens der Keilwinkel, ähnlich wie bei Planparallelschliff, auf etwa $m_e \doteq \pm 3''$ beschränkt ist, so entsteht über die erwähnte Faustregel $\gamma \doteq \frac{e}{2}$ der Fehlbetrag $m_\gamma \doteq \frac{m_e}{2}$ und wegen $\Gamma = \gamma + \gamma'$ wird anzunehmen sein $m_\Gamma = \frac{m_e}{\sqrt{2}} \doteq \pm 2''$.

Hieraus folgt, daß die oben eingeführte Bedingung $\Gamma = \frac{\varrho''}{C} = \frac{\varrho''}{100}$ nicht streng erfüllbar ist und jedem achromatischen Keil ein bestimmter Wert C zugehört, der vom Sollwert 100 um einen Betrag $m_C = \frac{C^2}{\varrho} m_\Gamma$ abweichen kann. Die Bedeutung dieser Tatsache wird bei der Erörterung der Keildistanzmesser [25,24] erkennbar werden.

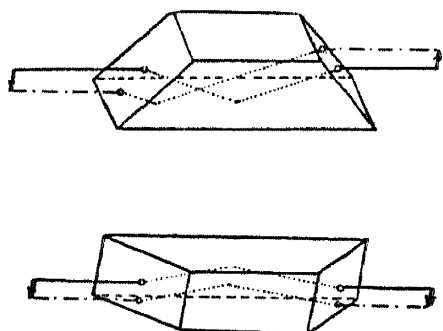
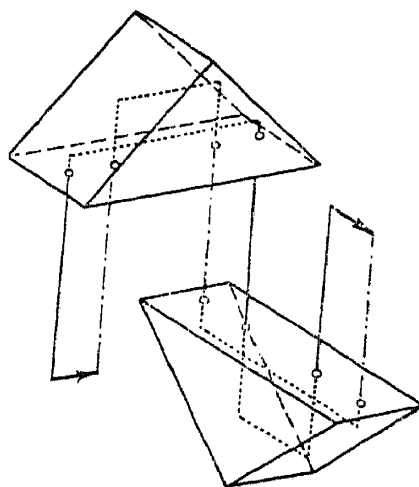



Abb. 50. Abb. 51.

Bei modernen geodätisch-photogrammetrischen Geräten sind Prismen und Prismensysteme in Verwendung, die durch Brechung und Spiegelung bestimmte Ablenkungen erzeugen und durch Drehung des Prismas um seine Längsachse (A m i c i - Prisma, Wende- oder Reversionsprisma, Abb. 50) das austretende Lichtbündel um den

doppelten Betrag verdrehen. Über besonders angeordnete Prismenflächen und zweckmäßige Strahlenführung entsteht Bildumkehrung und Seitenvertauschung (Umkehrprisma von *Abbe* bzw. von *Porro*, Abb. 51, als Umkehrsystem für Doppelfernrohre), wobei auch, je nach Prismenlage, eine bestimmte Parallelversetzung von Strahlenbündeln erreichbar ist[36].

16,5 Fernrohre

Sie entwerfen in ihrem Wirkungsbereich [13] entweder über das Objektiv allein (astronomisches Fernrohr) oder durch das Objektiv und eine nachfolgende Zwischenlinse (Fernrohr von *Porro* bzw. Fokussierfernrohr) ein reelles, verkleinertes, umgekehrtes Bild. Dieses wird mit dem Okular betrachtet und als virtuelles, vergrößertes, umgekehrtes Bild in der deutlichen Sehweite w gesehen. Bei einem Meßfernrohr ordnet man in der Ebene des reellen Bildes zu dessen Größenbestimmung ein Fadenkreuz (Abb. 52) an, das bei älteren Geräten aus Spinnfäden bestand, während im neuzeitlichen Instrumentenbau aus Quarz gezogene Fäden verwendet werden bzw. Glasplättchen mit mikrophotographisch hergestellten oder geritzten Strichen. Besonders vorteilhaft sind die bei modernen Instrumenten stets vorhandenen durchbrochenen Fadenkreuze. Sie ermöglichen sowohl die Einfassung des Zielpunktes zwischen Doppelstrichen, als auch sein sog. Anspießen der Seite und Höhe nach, ohne das Ziel selbst durch die Strichstärke zu verdecken.

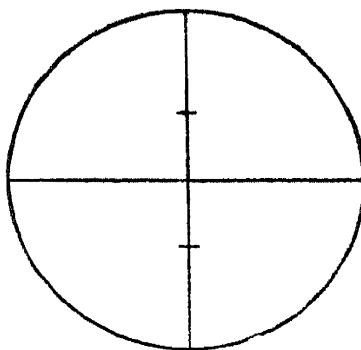



Abb. 52. *(Zeiß.)*

Die ungefähre Lage der Fadenkreuz- (Diaphragma-) Ebene ist durch ihre, oft auch verdeckten, Richtschräubchen erkennbar. Gelegentlich werden auch terrestrische Fernrohre verwendet, bei denen sich durch Zwischenabbildung mit zusätzlichen Linsen aufrechte Bilder ergeben. Orientierungsfernrohre zeigen immer aufrechte Bilder, die bei modernen Doppelfernrohren (Prismengläsern) [16,54] durch die oben [16,4] erwähnte Bildumkehrung von Prismensystemen erzeugt werden.

16,51 Astronomisches Fernrohr[37]

Der schematische Strahlengang zur Bildentstehung bei diesem von *Kepler* 1611 erstmalig verwendeten Fernrohr ist aus Abb. 53 zu ersehen.

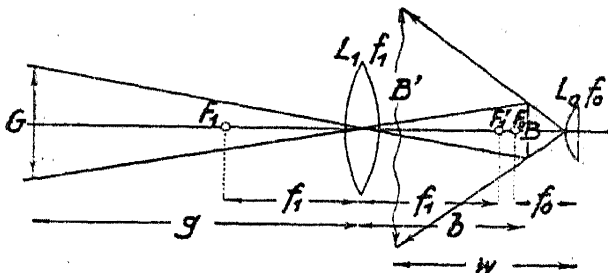
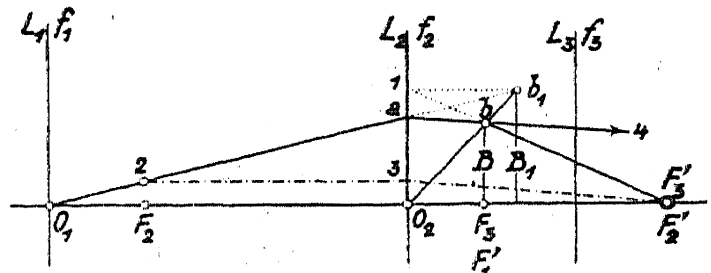



Abb. 53. Abb. 54.

Das Objektiv L_1 mit der Brennweite f_1 erzeugt das reelle Bild B entsprechend der Abbildungsgleichung (2) bzw. (3) von [13] in der Bildweite

$$b = f_1 \left(1 - \frac{f_1}{g}\right)^{-1} = f_1 + \frac{f_1^2}{g} + \dots \qquad (1)$$

Bezeichnet man die kürzeste Gegenstandsweite, auf die das Fernrohr noch eingestellt werden soll, mit g_0, so ergeben sich z. B. für eine Brennweite $f_1 = 300$ mm die folgenden Grenzen der Bildweiten:

$$g = \infty,\ b = f_1 = 300\ \text{mm};\ g_0 = 10\ \text{m},\ b_0 \doteq f_1 + 9\ \text{mm},$$

und mit dem durch eine Triebschraube veränderlichen Auszug der Okularröhre kann das in ihr befindliche Fadenkreuz jeweils in die Ebene des reellen Bildes eingestellt werden.

Das Okular L_O mit der Äquivalentbrennweite f_O wirkt als Lupe [16,1] und läßt im dort angegebenen Sinn dem Auge das virtuelle Bild B' in der deutlichen Sehweite w erscheinen.

Ist das Okular ein solches von *Ramsden*, dann reicht es für alle praktischen Bedürfnisse aus, sich mit dieser schematischen Darstellung zu begnügen und von Einzelheiten des Strahlenganges im Okularsystem selbst abzusehen.

Bei einem Okular von *Huygens* aber ist, wie bereits erwähnt [16,1], seine Feldlinse an der Entstehung des reellen Bildes mitbeteiligt, und wegen der Auswirkung dieses Umstandes auf in der Praxis vielfach noch im Gebrauch befindliche optische Distanzmesser mit einem solchen Okular [25,212] müssen wir den Strahlengang in ihm näher betrachten (Abb. 54).

Wäre das Objektiv L_1 allein vorhanden, so würde es vom Gegenstand G das Bild B_1 entwerfen. Fügt man nun die Feldlinse L_2 des

Okulars (mit den Brennpunkten F_2, F_2') ein, dann entspricht B_1 einem Gegenstand, der durch L_2 in B abgebildet wird. Der dem Punkt b_1 zugeordnete Bildpunkt b ergibt sich dann im Schnitt der folgenden drei Strahlen.

Hauptstrahl $b_1\,b\,O_2$, Brennstrahl $1\,b\,F_2'$, Bildstrahl $a\,b\,4$ parallel $3\,F_2'$, mit $\overline{O_2\,3} = \overline{F_2\,2}$, wobei 2 über F_2 auf dem Objektiv-Hauptstrahl $O_1\,b_1$ liegt.

Die Augenlinse L_3 des Okulars hat ihren rückwärtigen Brennpunkt F_3' in F_2' von L_2 und wirkt schließlich wie eine Lupe zur Betrachtung des Endbildes B.

Zum Gebrauch des Fernrohres für Vermessungszwecke muß, wie bereits erwähnt, das Fadenkreuz scharf in die Ebene des reellen Bildes gebracht werden. Diese meßgerechte — parallaxenfreie — Einstellung erfolgt stufenweise, unter Beachtung der schematischen Darstellungen von Abb. 55.

1. Drehung des Okulars O, bis die Striche des Fadenkreuzes so gut als möglich scharf erscheinen. Man erkennt dabei, daß weitere kleine Verdrehungen die Strichschärfe nicht merkbar ändern. Das Fadenkreuz befindet sich nun in der Gegenstandsweite g', während es bei völliger Schärfe im Abstand g liegen sollte.

2. Drehung der Getriebeschraube G. Hiedurch wird die ganze Okularröhre gegenüber dem feststehenden Bild B verschoben u. zw. so lange, bis dieses so scharf als möglich erscheint. Da die Färbigkeit des Bildes die Schärfeerkenntnis unterstützt, wird völlige Schärfe leichter erreicht als bei Punkt 1, so daß die richtige Gegenstandsweite g hergestellt ist.

3. Kopfbewegung läßt die Parallaxe $p = g' - g$, d. h. den Abstand von Bild- und Fadenkreuzebene, durch Springen der Meßfäden über dem Bild erkennen.

Diese Feststellung wird um so schwieriger, je mehr der Durchmesser der Austrittspupille den der Augenpupille unterschreitet, was bei den meisten geodätischen Instrumenten der Fall ist. Man kann sich von dieser Erscheinung überzeugen, indem man eine Landschaft durch einen Schirm betrachtet, der mit Lochungen von immer kleiner werdendem Durchmesser versehen ist[38].

4. Drehung der Getriebeschraube G, bis die Parallaxe beseitigt ist, d. h. bis die Meßfäden auch bei Kopfbewegung auf dem Bild festliegen. Das Bild ist hiedurch etwas unscharf geworden, da es sich nun im unrichtigen Abstand g' befindet.

5. Drehung des Okulars O, bis das Bild — und damit zugleich auch die Meßfäden — völlig scharf erscheinen. Bild und Fadenkreuz liegen nun, wegen der Parallaxenfreiheit, in einer Ebene und diese selbst in jener Gegenstandsweite g, die der individuellen deutlichen Sehweite w des betreffenden Beobachters zugeordnet ist.

Will jetzt ein anderssichtiger Beobachter mit der deutlichen Sehweite w' das Bild betrachten, dann wird es ihm wegen $w' \neq w$ undeutlich erscheinen. Zur Scharfstellung für sein Auge hat er nun nur mehr das Okular zu verdrehen, u. zw. nach den Regeln, die für den Gebrauch einer Lupe angegeben worden sind [16,1].

Trägt der Okularring eine Dioptrienteilung, dann ist hinkünftig, nach Einstellung der einmal bestimmten zu völliger Fadenkreuzschärfe gehörigen

Dioptrienzahl, nur mehr die Parallaxe durch Drehung der Getriebeschraube zu beseitigen.

Die Leistungsfähigkeit und Güte eines Fernrohres wird insbesonders durch die Angabe der Vergrößerung V, des Gesichtsfeldes G, der Helligkeit H, des Trennungsvermögens T und des mittleren Zielfehlers Z gekennzeichnet.

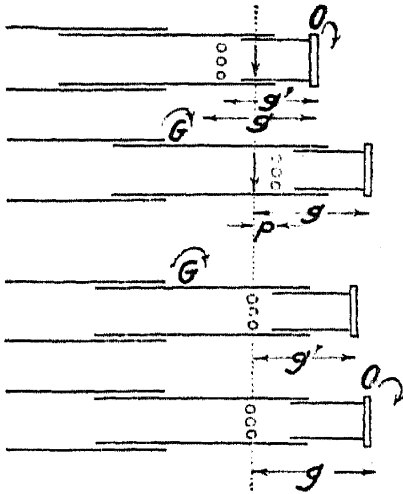
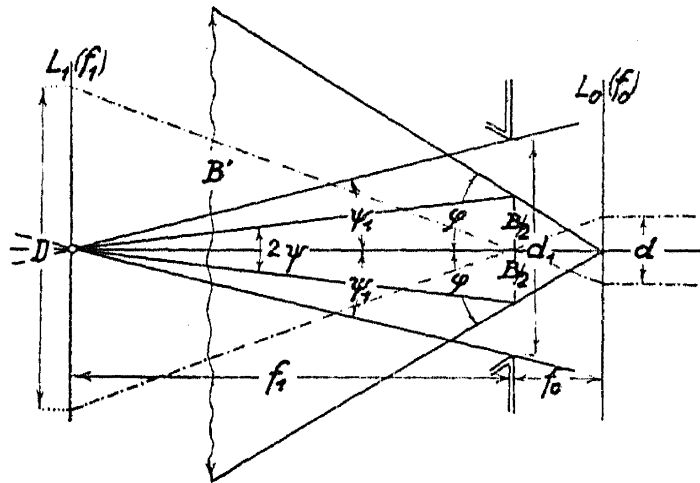



Abb. 55. Abb. 56.

Ist 2φ der Sichtwinkel, unter dem das virtuelle Endbild B' dem hinter dem Okular L_0 (f_0) befindlichen Auge erscheint, hingegen 2ψ der Sichtwinkel, mit dem das ins Objektiv L_1 (f_1) gerückte Auge nach dem Gegenstand blickt, dann erhalten wir, wegen dieser Verlegung des Augenortes, nur einen genäherten, aber praktisch tauglichen Wert der Vergrößerung V, nämlich (Abb. 56)

$$V \doteq \frac{\varphi}{\psi} \doteq \frac{B : f_0}{B : f_1} = \frac{f_1}{f_0} = \frac{D}{d} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

(D Durchmesser der Objektiveintrittspupille, d Durchmesser der Okularaustrittspupille).

Beim einfachen astronomischen Fernrohr mit Okular von *Ramsden* ermitteln wir die zur Bestimmung von V aus der obigen Gleichung (2) notwendigen Größen durch die folgenden Messungen.

Objektiv-Brennweite f_1: Weit entfernten Gegenstand scharf einstellen, Abstand Objektiv—Fadenkreuz (entsprechend Lage der Richtschräubchen) messen.

Okular-Brennweite f_0: Messung des Linsenabstandes a und Ausrechnung der Äquivalentbrennweite $f_0 = \frac{9}{8} a$ mit den Beziehungen (5) von [16,1].

Durchmesser der Austrittspupille d: Weit entfernten Gegenstand parallaxenfrei einstellen, Fernrohr gegen hellen Himmel richten und auf einem hinter dem Okular gehaltenen Papier den Durchmesser d mit Zirkel abgreifen. (Der Abgreiffehler ist relativ groß, daher Bestimmung von V aus D, d sehr ungenau.)

Zu einem astronomischen Fernrohr mit Okular von *Huygens* kann f_1 nicht ohne weiteres in der angegebenen Art direkt gemessen werden. Der Abstand Objektiv—Fadenplatte, nämlich O_1F_1' (Abb. 54), ist hier um den Abstand der beiden Bildebenen B und B_1, die sog. Okularverkürzung $\varkappa$ (siehe auch Abb. 58) zu vermehren, doch darf man diesen Unterschied u. U. und im Hinblick auf die eingeführten Näherungen auch vernachlässigen.

Bei jedem beliebigen Fernrohr anwendbar ist die unmittelbare Beobachtung der Vergrößerung durch Vergleichung des mit einem Auge gesehenen Gegenstandes und seines mit dem anderen Auge zu gleicher Zeit im Fernrohr betrachteten Bildes. Durch Übung und Versuch gelingt es sehr leicht, das Fernrohr z. B. nach einer Ableselatte (Gesamtlänge L) so zu richten, daß für beide Augen je ein Lattenende (o bzw. O) in gleicher Höhe erscheint (Abb. 57). Das linke Auge projiziert nun das andere Lattenende auf das mit dem rechten Auge gesehene Bild und erhält dadurch verhältnismäßig genau die Ablesung l an der Lattenteilung. Man berechnet

$$V = \frac{L}{l}.$$

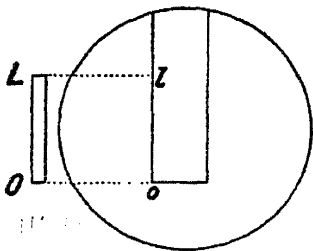



Abb. 57.

Unter günstiger Vergrößerung eines Fernrohrs versteht man jenen Grenzwert, bei dem das Auflösungsvermögen der Augennetzhaut voll ausgenützt ist. Durch übersteigerte Vergrößerung werden dem Auge mehr Einzelheiten dargeboten, als es zu verarbeiten imstande ist[39].

Als Gesichtsfeld G eines Fernrohres bezeichnet man den Sichtwinkel $G = 2\psi_1$ (Abb. 56), den die kreisförmige Gesichtsfeldblende mit dem Durchmesser d_1 begrenzt, nämlich $G \doteq \frac{d_1}{f_1}$. Da d_1 zumeist gleich der halben Okularbrennweite f_O angenommen wird, ergibt sich als Faustregel $G \doteq \frac{f_O}{2f_1} \doteq \frac{1}{2V}$ oder

$$G^0 \doteq \frac{\varrho^0}{2V} \doteq \frac{30^0}{V} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (3)$$

Man kann G auch dadurch direkt bestimmen, daß bei waagrechtem Fernrohr der obere und untere Rand des kreisrunden Gesichtsfeldes an einer in der Entfernung E lotrecht stehenden Latte abgelesen wird. Aus dem Ablesungsunterschied λ ergibt sich bei gleicher Einheit von λ und E

$$G^0 = \frac{\lambda}{E}\varrho^0 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (4)$$

Wenn mit n_{FA} bzw. n_A die Lic
netzhaut bei Benützung eines Fernrohr..
gegeben ist, so definiert man die Hell
mit dem Quotienten

$$H = \frac{n_{FA}}{n_A}.$$

Ist nämlich vor der Eintrittspupille des freien Auges
messer p) die Lichtdichte n vorhanden, dann wird die ein...
Lichtmenge $\frac{p^2 \pi}{4} n$ der auf dem Netzhautbild vom Durchmesser $2r$ kon-
zentrierten Lichtmenge $\frac{(2r)^2 \pi}{4} n_A$ gleich sein. Unter der Annahme,
daß der Durchmesser d der Fernrohraustrittspupille mit dem der Ein-
trittspupille des Auges übereinstimmt, wird auch die ins Objektiv
einfallende Lichtmenge $\frac{D^2 \pi}{4} n$ zur Gänze auf das V-fach vergrößerte
Netzhautbild übertragen, mit $\frac{(2rV)^2 \pi}{4} n_{FA}$.

Aus diesen Überlegungen erhalten wir die Beziehungen

$$p^2 n = (2r)^2 n_A, \qquad D^2 n = (2rV)^2 n_{FA}$$

und schließlich

$$H = \frac{n_{FA}}{n_A} = \frac{D^2}{p^2 V^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Setzt man, wie vorne angegeben, $V = \frac{D}{d}$, so entsteht $H = \frac{d^2}{p^2}$,
was für die getroffene Annahme $d = p$ zum erreichbaren Größtwert
$H = 1$ führt. Jede Erweiterung der Austrittspupille ist nutzlos, aber
auch kostspielig, wegen der zur Erhaltung einer bestimmten Ver-
größerung V dann notwendigen Erweiterung des Objektivdurch-
messers D.

Wird die vorhin erwähnte günstige Vergrößerung über-
steigert, so bewirkt dies, zufolge der im quadratischen Verhältnis
abnehmenden Helligkeit, eine absinkende Ausnutzung des Auf-
lösungsvermögens der Augennetzhaut.

Ein Fernrohr, das bei Tagesgebrauch ($p = 2$ mm bei Tages-
sehen) eine bestimmte Helligkeit H aufweist, zeigt bei Dämmerung,
wenn sich die Augenpupille auf $p = 8$ mm erweitert hat, nur mehr
die Helligkeit $\frac{H}{16}$.

Das Trennungs- oder Auflösungsvermögen T eines
Fernrohres ist wesentlich von der Güte des vom Objektiv entworfenen

Bildes bestimmt und, unter der Voraussetzung bestmöglicher Behebung der sphärischen und chromatischen Aberration, genähert durch den Betrag

$$T \doteq \frac{120''}{D} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

angebbar, wo D den Durchmesser des Objektivs, ausgedrückt in Millimetern, darstellt[40]. Hieraus erhält man auch für den bei Tagessehen vorhandenen Pupillendurchmesser $p = D = 2$ mm des Auges, dessen vorhin erwähnten Durchschnittswert für das punktuelle Trennungsvermögen, nämlich $T = \xi_P \doteq 1'$.

Damit das Auflösungsvermögen des Objektivs von der Netzhaut des Auges, mit ihrem punktuellen Trennungsvermögen $\xi_P \doteq 1'$ [15,1], voll ausgenützt werden kann, darf die Vergrößerung V_2 des zugehörigen Okulars den Wert $V_2 = \frac{D}{2}$ (D in Millimetern) nicht übersteigen.

Hat man daher ein Objektiv mit dem Durchmesser $D = 40$ mm, so ist es unzweckmäßig und unnütz, ein Okular von mehr als 20facher Vergrößerung zu verwenden.

Sehr oft bezeichnet man als Auflösungsvermögen eines Fernrohres auch jenen Grenzwinkel $T'' = \frac{i}{E}\varrho''$, unter dem die Intervalle i einer Teilung in der Entfernung E eben noch scharf und deutlich unterscheidbar sind.

Die Zielgenauigkeit Z, die beim freiblickenden Auge durch sein punktuelles (ξ_P) bzw. Linien-Trennungsvermögen (ξ_B) bedingt ist und, wie bemerkt [15,1], schon durch Beobachtung mit Dioptern beträchtlich erhöht werden kann, ist bei Verwendung eines Fernrohres nicht nur von seinem Auflösungsvermögen T in der vorhin angegebenen Art abhängig, sondern auch von der Form des Zieles und der Strichstärke des Fadenkreuzes. Zahlreiche Versuche ergaben eine günstige scheinbare Fadenstärke von etwa 1′ und Durchschnittswerte $Z \doteq \frac{Z_0}{V}$, wobei je nach Übung des Beobachters und den sonstigen Umständen Z_0 zwischen 40″—10″ angenommen werden kann[41]. Die Erfahrung zeigt, daß Z bei langen Sichten kleiner ist als bei kurzen Sichten.

16,52 Anallaktisches Fernrohr von *Porro* (1801—1875)

Bei jedem Fernrohr, das mit einem Fadenkreuz für optische Distanzmessung versehen ist, zählen wir die Entfernungen vom sog. anallaktischen Punkt aus. Er liegt beim gewöhnlichen astro-

nomischen Fernrohr im dingseitigen Brennpunkt des Objektivs. Um sogleich die Distanzen vom Standpunkt des Instrumentes aus zu erhalten, ist es notwendig, den anallaktischen Punkt in jenen Punkt der Fernrohrachse zu verlegen, der sich über dem Standpunkt des Instrumentes befindet. Dieses Ziel erreichte *Porro* durch Einbau einer Sammellinse zwischen dem Objektiv und dem Fadenkreuz[42].

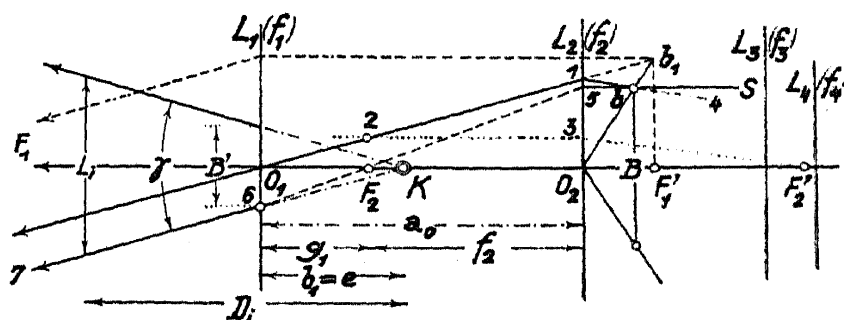



Abb. 58.

Der Strahlengang im anallaktischen Fernrohr von *Porro* (Abb. 58) ist im Wesen derselbe wie beim astronomischen Fernrohr mit Okular von *Huygens* (Abb. 54).

Durch das Objektiv L_1 allein würde mit den gestrichelt gezeichneten Strahlen der Bildpunkt b_1 entworfen, der indessen wegen der zwischenstehenden Linse von *Porro* (L_2) nicht zustande kommt, sondern von ihr nach b verlegt wird, so wie dies für das Okular von *Huygens* eingehender erläutert wurde. Schließlich betrachtet man dieses reelle Bild B durch das Okular (L_3, L_4).

Die optische Gesamtwirkung erkennen wir bei der Verfolgung des durch b gehenden Parallelstrahles S—b—5, der von der Zwischenlinse L_2 über ihren vorderen Brennpunkt F_2 nach dem Objektiv L_1 gelenkt wird, von wo aus er in der Richtung 6—7 weitergeht. Seine Rückwärtsverlängerung ergibt den anallaktischen Punkt K als Scheitel eines Winkels γ, dessen Schenkel im Gegenstandsraum stets lotrechte Abschnitte L_i bestimmen, die in der gleichen Größe B abgebildet werden. Man kann K auch auffassen als den vom Objektiv entworfenen virtuellen Bildpunkt zum Dingpunkt F_2; u. zw. virtuell deshalb, weil dieser Dingpunkt F_2 innerhalb der Brennweite f_1 im Objektivbildraum liegt. Die Gegenstandsweite g_1 von F_2, in bezug auf die lupenähnlich wirkende Objektivlinse, ist daher entweder in der allgemeinen Abbildungsgleichung (2) von [13] negativ zu zählen, nämlich mit $g_1 = -(a_0 - f_2)$ einzuführen, oder man berechnet die Bildweite b_1 direkt aus der Gleichung (2) von [16,1] mit $g_1 = (a_0 - f_2)$ und erhält

$$b_1 = e = \frac{f_1\, g_1}{g_1 - f_1} = \frac{f_1\,(a_0 - f_2)}{f_1 + f_2 - a_0}.$$

Da die Äquivalentbrennweite F des Linsensystems L_1, L_2 entsprechend (4) von [13] bestimmt ist durch den Ausdruck

$$F = \frac{f_1\, f_2}{f_1 + f_2 - a_0},$$

so erkennen wir die Möglichkeit, durch eine Änderung da_0 des Linsenabstandes a_0, sowohl e als auch F um gewisse Beträge de bzw. dF zu verändern. Die Bedeutung dieses Umstandes wird sich bei der Erörterung der optischen Distanzmessung ergeben [25,213].

16,53 Fokussierfernrohr mit innerer Einstellinse

In dem zentrierten System, bestehend aus Objektiv L_1 und Zerstreuungslinse L_2, wird diese durch eine Triebschraube oder einen Triebring in einen solchen Abstand a zum Objektiv gebracht, daß das reelle Bild B des Gegenstandes G in der Fadenkreuzebene E entsteht, wo man es schließlich mit dem Okular L_O in bekannter Art betrachtet (Abb. 59). Zufolge des festen Einbaues des Fadenkreuzes im Abstand l von L_1 ergibt sich ein sogenanntes Fernrohr von unveränderlicher Länge, mit der Möglichkeit, es völlig luft- und gasdicht abzuschließen.

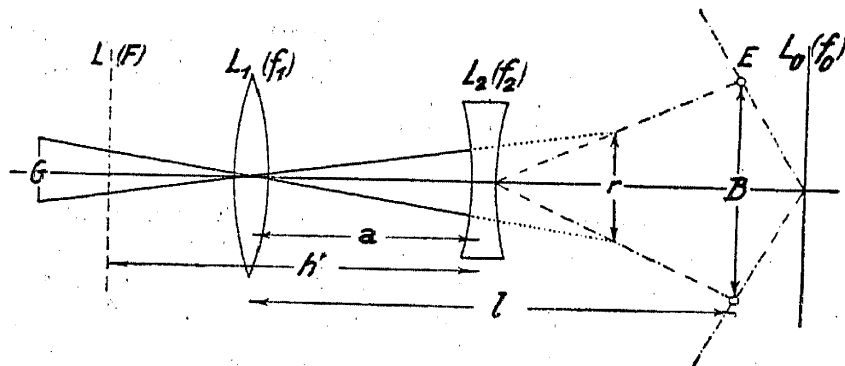



Abb. 59.

Die Ersatzlinse L des Systems L_1, L_2 mit der Äquivalentbrennweite F hat, entsprechend (4) aus [13], von der Linse L_2 den Abstand

$$h' = \frac{a \cdot f_2}{f_1 + f_2 - a}$$

und der als Fernrohrverkürzung bezeichnete Unterschied $h' - a$ gibt genähert an, um wieviel länger ein einfaches astronomisches Fernrohr mit einer Objektivbrennweite F ausfallen würde.

Bei den von *H. Wild* in den geodätischen Instrumentenbau eingeführten modernen, sehr kurzen Fernrohren mit innerer Einstelllinse wird stets eine verhältnismäßig kleine Objektiv-Brennweite f_1 mit einer recht großen negativen Brennweite f_2 der Fokussierlinse kombiniert. Hiedurch ergibt sich bei normaler Äquivalentbrennweite F und günstiger Gesamtvergrößerung eine beträchtliche Verkürzung der Fernrohrlänge, die man zur Erzielung eines gedrungenen Instrumentenbaues anstrebt.

Aus Abb. 59 ist erkennbar, daß das vom Gegenstand G durch das Objektiv L_1 entworfene Bild r, wegen des Dazwischentretens der Fokussierlinse L_2, nicht zustande kommt, sondern über L_2 in B (zugleich Fadenebene E) entsteht. Die Vergrößerung $V = \frac{B}{G} = \frac{F}{f_0}$ jedes Fokussierfernrohres ist veränderlich. Wächst etwa bei abnehmender Gegenstandsweite g_i (siehe Beispiel zu [25,214]) der Linsenabstand a_i, wodurch die Äquivalentbrennweite

$$F = F_i = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - a_i}$$

allmählich abnimmt ($f_2 < O$), so sinkt die zugehörige Vergrößerung $V_i = \frac{F_i}{f_0}$ ebenfalls in geringem und praktisch unmerklichem Ausmaß[43].

16,54 Doppelfernrohre[44]

Sie erzeugen durch ihre optische Vergrößerung V und durch Erweiterung des Abstandes ihrer beiden Eintrittspupillen auf einen mehrfachen Betrag des Augenabstandes eine Erhöhung der totalen Plastik und damit eine Verstärkung des Raumeindruckes.

Die optischen Vergrößerungen beider Fernrohre müssen nahezu gleich groß sein und die optischen Achsen dürfen von der parallelen Lage der Höhe nach höchstens um etwa 30′ abweichen. Der Seite nach ist eine Divergenz bis zu 60′ oder eine Konvergenz bis zu 3° statthaft. Werden diese Bedingungen nicht erfüllt, dann tritt Störung (bis zu völliger Verhinderung) der Raumtiefenempfindung ein.

Einfache Doppelfernrohre (holländische bzw. *Galilei*-Feldstecher) mit einer Objektivsammellinse und einer Okularzerstreuungslinse ergeben unmittelbar aufrechte Bilder, besitzen kurzen Bau, geringe Vergrößerung, aber große Helligkeit.

Prismendoppelfernrohre wirken wie astronomische Fernrohre mit Aufrichtung der umgekehrten Bilder durch Prismensätze, die zugleich die lineare Bildweite mehrfach stufenweise brechen und staffeln. Hiedurch entstehen kurze Prismengehäuse, deren Gelenkbrücke die Knickung auf einen bestimmten Augenabstand ermöglicht. Die Scharfstellung erfolgt entweder getrennt mit beiden Okularen oder allgemein durch einen Mitteltrieb, mit vorgesehener Korrektur für ein Okular.

Die am Gehäuse von Prismengläsern meist angegebene Doppelzahl (z. B. 8 × 40) bezieht sich auf Vergrößerung (8 ×) und Objektivdurchmesser (40 mm). Es ist üblich, das Gesichtsfeld durch jene Strecke in Metern anzugeben, die man in einer Entfernung von

1 Kilometer überblickt. Als Helligkeit H bezeichnet man hier zumeist das Quadrat des in Millimetern gemessenen Durchmessers d der Austrittspupille.

Ein weiteres Gütekennzeichen stellt der sog. Dämmerungsleistungswert DLW $= H V^2$ dar, wo H die Helligkeit im obigen Sinn und V die Vergrößerung bedeutet.

16,55 Spiegellinsenfernrohre

In dem Bestreben, ein Fernrohr zu schaffen, das der Leistungssteigerung und hohen feinmechanischen Genauigkeit von modernen Triangulationstheodoliten mit einem auf Präzisionskugellagern laufenden Achsensystem [18] entspricht, wurde von Dr. *H. Wild* in Baden (Schweiz) der völlig neuartige Typus des Spiegellinsenfernrohres konstruiert[45].

Es ist dies die genial ersonnene Vereinigung eines Linsenfernrohres mit einem Spiegelfernrohr[46] und erfüllt die Konstruktionsabsicht nach einem sehr kurzen Fernrohr großer Helligkeit, bei gänzlicher Ausschaltung des sekundären Spektrums, in der denkbar vollständigsten Weise.

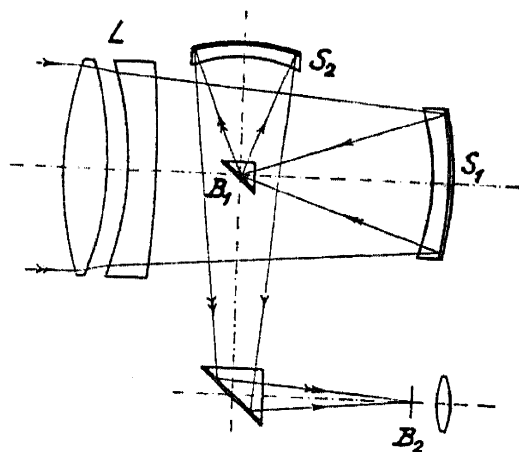



Abb. 60.

Ein zweilinsiges Sammelobjektiv L (Abb. 60) mit einem gleichachsig zentrierten ersten Hohlspiegel S_1 erzeugt zwischen Objektiv und Spiegel ein erstes reelles B_1 auf einer Prismenfläche in der optischen Achse dieses Systems. Das Bild B_1 wird durch einen zweiten seitlich gelagerten Hohlspiegel S_2, dessen Achse die des ersten Systems normal schneidet, in ein zweites, aufrechtes und vergrößertes Bild B_2 umgewandelt, das man mit einem Okular betrachtet.

Durch diese Kombination ist eine hervorragende optische Korrektion erreicht worden, deren Fehlerreste nur den zehnten Teil jener von gewöhnlichen Linsenfernrohren betragen.

Trotz der sehr kurzen Länge des Fernrohrkörpers ergeben sich große Objektivbrennweiten (z. B. 430 mm), so daß zur Erzielung einer bestimmten Vergrößerung die vorteilhafte Möglichkeit besteht, Okulare mit größerer als der sonst im geodätischen Instrumentenbau üblichen Brennweite von rund 1 cm zu verwenden.

Wegen der höheren Herstellungskosten werden nur Präzisionsinstrumente für Triangulierung und geographische Ortsbestimmung mit solchen Fernrohren ausgestattet, deren Herstellungspatente sich im Besitz der *Kern & Co. A.G.*, Aarau, befinden.

Literaturhinweise zu Abschnitt D [13]—[16]

1 *Berliner-Scheel,* Physikalisches Handwörterbuch, 2. Auflage, Berlin 1932, Springer, S. 420 ff.
2a *Müller-Pouillet,* Lehrbuch der Physik, 11. Auflage, II. Band, 1. Hälfte, Optik, Braunschweig 1926, Vieweg und Sohn.
2b *Gleichen,* Lehrbuch der geometrischen Optik, Berlin 1902, Teubner.
2c *Hinrichs,* Einführung in die geometrische Optik, Berlin 1918, Göschen.
2d *Hartner-Doležal,* N. G. I 1, §§ 25—29.
2e *Jordan-Eggert,* V. K. II 1, §§ 58—68.
2f *Näbauer,* V. K., S. 26—34.
3 a. a. O. 2 b, S. 95; a. a. O. 2 d, S. 218.
4 a. a. O. 2 d, S. 220; a. a. O. 2 e, S. 257, 258.
5 a. a. O. 2 a, S. 169 ff.; a. a. O. 2 b, S. 108; a. a. O. 2 c, Kapitel VI.
6 a. a. O. 2 a, S. 351 ff.; a. a. O. 2 b, S. 110—172; a. a. O. 2 d, § 26; a. a. O. 2 e, § 60.
7 a. a. O. 2 b, S. 118.
8 a. a. O. 2 a, S. 344 ff., 362, 407; a. a. O. 2 b, S. 133 ff.
9 *Merté, W.*, Über einige Zeiß-Objektive für Photogrammetrie, in: *Gruber,* Ferienkurs, S. 65.
10 *König, A.*, Die Fernrohre und Entfernungsmesser, 2. Auflage, Berlin 1937, Julius Springer, S. 28—29.
11 a. a. O. 10, S. 30; a. a. O. 2 b, S. 189; *Finsterwalder,* Photogrammetrie, S. 17.
11a *Leistner, K.*, Zeiß T-Optik in: Photographie und Forschung (Hausmitteilungen der Zeiß Ikon A. G.), Dresden, 1941, S. 188.
12 a. a. O. 2 b, S. 402; a. a. O. 1, S. 89.
13 a. a. O. 2 a, Die Gesetze der Lichtmischung im Tagessehen, S. 458 ff.
14 a. a. O. 2 a, S. 253; a. a. O. 2 b, S. 207.
15 a. a. O. 2 a, S. 564; a. a.O. 2 b, S. 163.
16 a. a. O. 2 b, S. 203.
17 a. a. O. 2 d, S. 229; a. a. O. 2 e, S. 283.
18 a. a. O. 10, S. 31 ff.
19 a. a. O. 10, S. 23 ff.; a. a. O. 2 a: „Das Auge und die Gesichtsempfindungen“ v. *Erggelet,* Jena, und *M. v. Rohr,* Jena, S. 391 ff.; a. a. O. 2 d, § 27; a. a. O. 2 e, § 63.
20 a. a. O. 10, S. 35 ff.
21 a. a. O. 2 a, S. 400; a. a. O. 2 b, S. 448; a. a. O. 10, S. 39—42; a. a. O. 2 e, § 63.
22 a. a. O. 10, S. 43.
23 a. a. O. 10, S. 23; *O. v. Gruber,* Stereoskopisches Sehen und Messen, in: *Gruber,* Ferienkurs, S. 290.
24 a. a. O. 10, S. 45 ff.; a. a. O. 11, S. 33.
24a *Baeschlin-Zeller,* Stereophotogrammetrie, S. 181 ff.
24b *Löschner,* Erdbildmessung, § 21.

24c *Schwidefsky,* Einführung, S. 25.
25 a. a. O. 10, S. 47.
26 a. a. O. 2 b, S. 430; a. a. O. 10, S. 49—51.
27 a. a. O. 2 d, S. 232, 249; a. a. O. 2 e, § 64, § 66.
28 a. a. O. 2 b, S. 361, 335 ff.
29 a. a. O. 10, S. 59 ff.
30 a. a. O. 2 e, § 68.
31 a. a. O. 2 f, S. 29.
32 *Baeschlin, C. F.,* Kurze Darstellung der Gesetze der Prismenoptik als Grundlage des Verständnisses für moderne Distanzmesser, in: Die optische Distanzmessung und ihre Anwendung bei der schweiz. Grundbuchvermessung, Winterthur 1925, Buchdruckerei Winterthur, S. 75.
33 *Carl Zeiß,* Jena, Zeiß Feldausrüstung Modell C 3/b, Druckschrift Meß 484, Jena 1927, S. 5.
34 a. a. O. 32, S. 63.
35 a. a. O. 2 e, S. 264.
36 a. a. O. 10, S. 96; a. a. O. 24 c, S. 19; a. a. O. 2 f, S. 29.
37 a. a. O. 2 a, S. 632, 638; a. a. O. 2 b, S. 270—357; a. a. O. 2 d, S. 236 ff.; a. a. O. 2 e, § 65; a. a. O. 2 f, S. 42 ff.; a. a. O. 10, S. 56—75.
38 *Tardi,* Géodésie I, S. 114.
38a a. a. O. 10, S. 127; a. a. O. 2 a, Strahlenbegrenzung, Apertur, S. 561 ff.
39 a. a. O. 10, S. 69.
40 a. a. O. 38, S. 114.
41 a. a. O. 2 d, S. 275; a. a. O. 10, S. 129; *Vogg, A.,* Die Genauigkeit des Zielens mit Fernrohren, Z. f. V., 1943, Heft 9.
42 a. a. O. 10, S. 158; a. a. O. 2 d, S. 335.
43 a. a. O. 2 e, § 67.
44 a. a. O. 10, S. 52, 108, 234.
45 *H. Wild,* Dr. h. c., Die neuere Entwicklung einiger geodätischer Instrumente, in: Festschrift „Vermessung-Grundbuch-Karte", Schweiz. Landesausstellung, Zürich, 1939; *H. Wild,* jun., Über Fernrohre für Vermessungsinstrumente, in: Jubiläumsschrift der Kern & Co. A. G., Aarau, „120 Jahre Kern, Aarau", 1939.
46 a. a. O. 10, S. 80.

ABSCHNITT E

Instrumente zur Winkelmessung

Bei der Grundrißaufnahme benötigen wir zur Lösung einfachster Aufgaben einerseits Geräte zur Absteckung von Horizontalwinkeln bestimmter Größe (meist 45°, 90°, 180°) im Gelände und weiters Instrumente (Theodolite, Bussolen) zur Messung von beliebig großen Horizontalwinkeln.

Die Höhenaufnahme erfordert Geräte, die entweder den Horizont unmittelbar darstellen, oder die Bestimmung der Neigung von gegebenen Zielstrahlen ermöglichen, durch Messung ihres vom Horizont ab gezählten Höhenwinkels β oder der vom Zenit aus gerechneten Zenitdistanz $z = 90^\circ - \beta$.

17 Geräte zur Herstellung von Winkeln bestimmter Größe

Die Winkelschenkel werden durch einfache Zieleinrichtungen festgelegt oder durch den Strahlengang bei Reflexion und Brechung an Spiegeln und Prismen[1].

17,1 Winkelkreuz und -trommel

Diese Geräte erzeugen den gewünschten Winkel mit Hilfe eines aus Holz oder Metall bestehenden kreuz- oder trommelförmigen Trägers der Zieleinrichtungen (Diopter), die zum Hin- und Rückblick über den Zielspalt nach dem gegenüberliegenden Zielfaden dienen. Die erreichbare Winkelgenauigkeit beträgt etwa 4′, wenn auf gute Lotrechtstellung der Zielebenen geachtet wird. Man prüft das Gerät am besten über dem mit einem Theodolit genau abgesteckten Sollwinkel oder nach den Angaben von [17,4].

17,2 Winkelspiegel

Nach Spiegelung an zwei festen Flächen ist der austretende Strahl SP gegen den eintretenden $1\,S$ um den Winkel W abgelenkt, und bei Betrachtung von Abb. 61 erhalten wir:

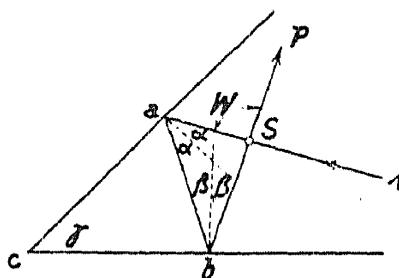



Abb. 61.

aus Dreieck $a\,b\,S$: $2\,\alpha + 2\,\beta = W$,
aus Dreieck $a\,b\,c$: $(90^\circ - \alpha) + (90^\circ - \beta) + \gamma = 180^\circ$,
also $\gamma = \alpha + \beta$, $W = 2\,\gamma$, so daß z. B. für $\gamma = 45^\circ$ bzw. 90°, die Winkel $W = 90^\circ$ bzw. 180° entstehen.

Ist einer der beiden Spiegel beweglich, wie z. B. beim Sextanten, dann kann das Spiegelbild des Punktes 1 mit einem Zielpunkt P zur Deckung gebracht und der Winkel $W = 2\,\gamma$ an der Kreisteilung des Gerätes abgelesen werden.

17,3 Winkelprismen

Beim einfachen Dreiecksprisma aus Glas mit dem Brechungskoeffizienten n, von gleichschenklig-rechtwinkligem Grundriß, ist

die Fläche über der Hypotenuse mit einem Spiegelbelag versehen. Je nach der Prismenhaltung entstehen entweder lichtstarke, aber bei Gerätdrehung bewegliche, daher praktisch nicht verwendbare Bilder (Abb. 62 a) oder festbleibende und deshalb praktisch verwertbare Bilder von etwas geringerer Lichtstärke (Abb. 62 b).

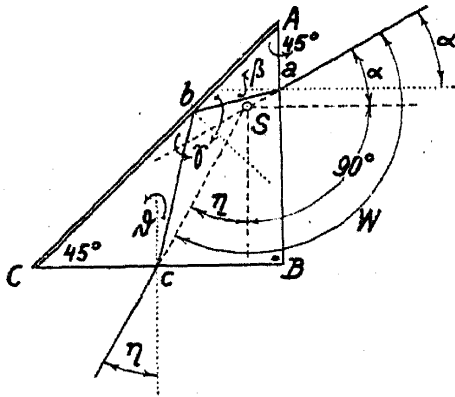
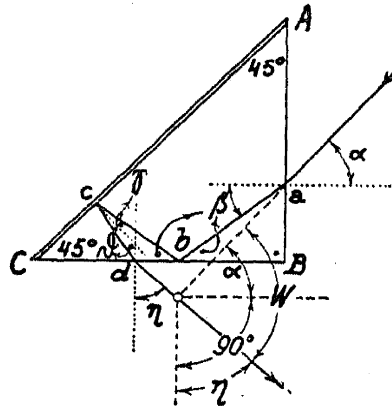



Abb. 62 a. Abb. 62 b.

Mit der Verfolgung des Strahlenganges leiten wir die folgenden Beziehungen ab:

Aus Abb. 62 a:

1. Punkt a (Brechung): $\sin\alpha = n \sin\beta$,
   Punkt b (Spiegelung):
   2. Dreieck A—a—b: $45^0 + (90^0 + \beta) + \gamma = 180^0$, $\beta + \gamma = 45^0$,
   3. Dreieck b—c—C: $\gamma + (90^0 + \vartheta) + 45^0 = 180^0$, $\gamma + \vartheta = 45^0$,
4. Punkt c (Brechung): $n \sin\vartheta = \sin\eta$.

Aus 2., 3. folgt $\beta = \vartheta$, daher aus 1., 4. $\alpha = \eta$. Im Schnittpunkt S ergibt sich $W = 90^0 + 2\alpha$, also abhängig von dem bei Gerätdrehung veränderlichen Einfallswinkel.

Aus Abb. 62 b:

1. Punkt a (Brechung): $\sin\alpha = n \sin\beta$,
2. Punkt b (Spiegelung und teilweiser Lichtverlust durch Brechung nach außen): $\beta = \beta$,
3. Punkt c (Spiegelung), Dreieck b—c—C:
   $\beta + (90^0 + \gamma) + 45^0 = 180^0$, $\beta + \gamma = 45^0$,
   Dreieck c—C—d:
   $(90^0 - \gamma) + 45^0 + (90^0 - \vartheta) = 180^0$, $\gamma + \vartheta = 45^0$.
4. Punkt d (Brechung): $n \sin\vartheta = \sin\eta$. Wegen $\beta = \vartheta$ ergibt Vergleich von 1. mit 4. $\alpha = \eta$ und daher im Schnittpunkt: $W = \alpha + 90^0 - \eta = 90^0$, unabhängig vom Einfallswinkel α.

Bei dem Fünfeckprisma (Pentagon) sind außer den freien Glasflächen AB, BC, alle anderen Flächen mit einem Spiegelbelag versehen. Es entstehen nur lichtstarke, auch bei Gerätdrehung

feste Bilder und aus dem Strahlengang von Abb. 63 entnehmen wir die folgenden Beziehungen.

1. Punkt a (Brechung): $\sin\alpha = n \sin\beta$,
2. Viereck $a—c—b—A$ (Spiegelung in c und b):
$$(90^\circ + \beta) + 2\gamma + (90^\circ + \vartheta) + 112^\circ 30' = 180^\circ,$$
$$\vartheta + 2\gamma + \beta = 67^\circ 30'.$$
3. Viereck $a—c—C—B$ (Spiegelung in c):
$$(90^\circ - \beta) + (90^\circ - \gamma) + 112^\circ 30' + 90^\circ = 180^\circ,$$
$$\beta + \gamma = 22^\circ 30'.$$
4. Punkt d (Brechung): $n \sin\varphi = \sin\eta$.

Der Vergleich von 3. mit 2. gibt $\vartheta + \gamma = 45^\circ$ und daher im Schnittpunkt S' den Winkel $W' = 2(\gamma + \vartheta) = 90^\circ$. Es ist somit $\overline{ac}$ normal $\overline{bd}$, so daß $\beta = \varphi$, und aus dem Vergleich von 1. mit 4. findet man $\eta = \alpha$. In S entsteht deshalb der Winkel
$$W = \alpha + 90^\circ - \eta = 90^\circ.$$

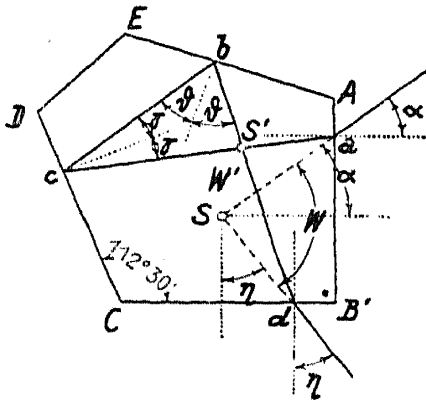
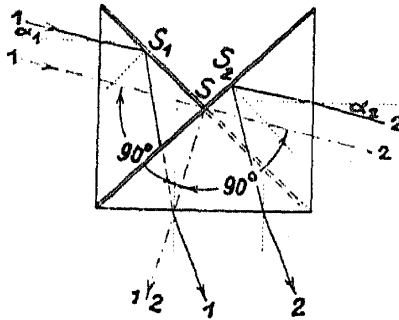
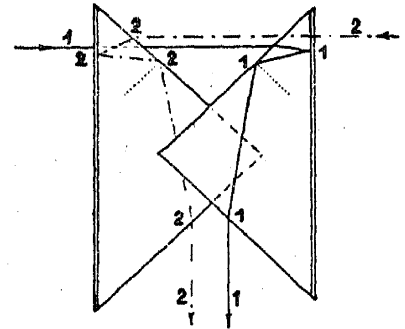



Abb. 63. Abb. 64. Abb. 65.

In Abb. 63 ist der im Glas liegende Winkel β bei a bzw. φ bei d nicht bezeichnet.

Prismenkombinationen sind feste Zusammenfügungen zweier Prismen. Sie dienen zum gleichzeitigen Einschalten von Zwischenpunkten in gegebene Linien und zum Fällen von Senkrechten in diesen Punkten.

Das Prismenkreuz von *Bauernfeind* verwendet die vorhin erwähnten beweglichen Bilder jedes Einzelprismas in der Art, wie sie durch Abb. 64 schematisch angedeutet ist. Während sich für das erste Prisma der Winkel $W_1 = 90^\circ + 2\alpha_1$ mit dem Scheitel S_1 ergibt, erzeugt das zweite Prisma den Winkel $W_2 = 90^\circ + 2\alpha_2$ im Scheitel S_2. Rückt die Prismenachse S in die Verbindungslinie zweier Geländepunkte 1, 2, so wandern die Schnittpunkte S_1 bzw. S_2 nach S und man erhält $\alpha_1 = -\alpha_2$, $W = W_1 + W_2 = 180^\circ$. In diesem Augenblick fällt das Bild des Punktes 2 im oberen Prisma, mit dem des Punktes 1 im unteren Prisma an der gemeinsamen Vorderfläche zusammen. Mit jedem der beiden Prismen kann nun, unter Benutzung des festen Bildes von 1 oder 2, auch noch die Senkrechte zu $\overline{12}$ angegeben werden.

Das P r i s m e n k r e u z von *Starke* (Abb. 65) verwendet die festen Bilder der beiden Punkte 1, 2 sowohl zur Einrückung der Gerätachse in die Verbindungslinie, wie auch zur Bestimmung der zu ihr senkrechten Richtung. Verschiebt man nämlich das Prismenkreuz normal zur Linie $\overline{12}$, bis die Bilder von 1 bzw. 2 übereinanderstehen, dann befindet sich die Gerätachse in der gegebenen Linie, und die Zielung über die zusammenfallenden Bilder bestimmt die Richtung der Normalen zu $\overline{12}$.

17,4 Handhabung, Prüfung und Genauigkeit

Die Richtigkeit der Arbeit mit den Spiegel- oder Prismengeräten ist wesentlich von der lotrechten Lage ihrer durch den Handgriff gegebenen Achse abhängig, so daß man für genauere Zwecke anstatt der sonst üblichen freihändigen Haltung, mit am Griff hängendem hinreichend schwerem Senkel, einen L o t s t a b verwendet. Bei der F ä l l u n g oder E r r i c h t u n g (Abb. 66) des rechten Winkels im bereits bezeichneten Punkt 3 der Linie *A*, 1, 3, 2, *E* muß das Senkel (Lotstab) auf 3 weisen, ehe man in der Richtung über dem Bild von 1 oder 2 (bzw. den beim Prismenkreuz von *Starke* koinzidierenden Bildern von 1 und 2) den Schenkel des rechten Winkels durch einen Fluchtstab *P* bezeichnet.

Zur Aufsuchung oder Absteckung des Scheitels des rechten Winkels, als Fußpunkt der Normalen vom gegebenen Punkt *P* auf die Linie *A*, 1, 2, *E* bewegt man den einfachen Winkelspiegel oder das Prisma so lange normal zur Richtung *A E*, bis der nicht zu nahe Fluchtstab 2 (oder 1) den Fluchtstab in *E* (oder *A*) genau deckt. Bei Erhaltung dieser Deckung verschiebt man das Gerät seitlich in der Linie *AE*, bis das entsprechende Bild genau in der Richtung nach dem Fluchtstab in *P* liegt. In diesem Augenblick gibt das Senkel den gesuchten Fußpunkt 3 an.

Wird das einfache Dreiecksprisma so gehalten, daß seine Hypotenuse ungefähr parallel zur Richtung $\overline{AE}$ (Abb. 66) liegt, dann erblickt man das unbewegliche Bild von 2 bzw. 1 ganz nahe der linken (bzw. rechten) Prismenkante.

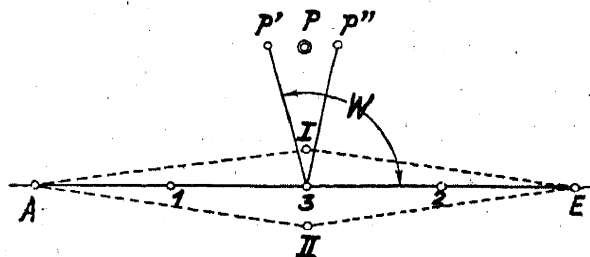



Abb. 66.

Die Prüfung eines Winkelspiegels oder -prismas kann entweder über einem rechten Winkel A, 3, P ausgeführt werden, der z. B. mit einem Theodolit genau abgesteckt wurde, oder mit dem Gerät selbst, über den sehr genau in einer Flucht liegenden Punkten A, 3, E bzw. auch A, 1, 3, 2, E.

Im ersten Fall muß in dem über Punkt 3 gehaltenen Gerät das Bild von A genau in der Richtung nach Punkt P liegen.

Im zweiten Fall (Abb. 66) hält man das Gerät über 3, erblickt in ihm z. B. Punkt 2 in Deckung mit E und läßt einen Fluchtstab P' über dem Bild von 2 einrichten, wodurch der Winkel W von rechts her abgesteckt ist. Darauf wiederholt man den Vorgang von links her mit Hilfe des Bildes 1 und erhält z. B. den Fluchtstab P''. Fallen die beiden Punkte P', P'' innerhalb der erreichbaren Genauigkeit zusammen, dann ist $W = 90^0$ und das Gerät richtig. Bei etwa vorhandenem Unterschied bezeichnet man durch einen Stab im mittleren Punkt P die richtige Lage des Schenkels.

Die Berichtigung eines Winkelspiegels erfolgt durch Veränderung des Spiegelwinkels γ (Abb. 61) mit Hilfe der auf einen der beiden Spiegel unter Zug bzw. Druck wirkenden Richtschräubchen, u. zw. so lange, bis das Bild von 1 bzw. 2 genau in der Richtung zum Fluchtstab P liegt.

Ein Prisma kann nicht berichtigt werden. Zufolge der weiter vorne erwähnten Genauigkeit des Prismenschliffes [16,4] von etwa $\pm 3''$ ist kaum anzunehmen, daß Prismen mit merkbarer Abweichung vom geforderten Wert $W = 90^0$ zum Verkauf kommen, oder daß der vorhandene geringe Fehler durch eines der beschriebenen Verfahren aufgedeckt wird.

Die Prüfung des Winkels $W = 180^0$ einer Prismenkombination vollzieht man über dem Punkt 3 (Abb. 66), der z. B. mit einem Theodolit sehr genau in die Richtung $A\ E$ eingewiesen wurde. Wenn die Bilder von A und E nicht scharf übereinanderliegen, führt man diese Koinzidenz mit den vorhandenen Richtschräubchen herbei.

Ist ein solcher Prüfpunkt 3 nicht vorhanden, dann kann das Gerät auch aus sich selbst heraus geprüft werden. Hiezu legt man vorerst jenen Punkt I (Abb. 66) fest, bei dem die Bilder A und E zusammenfallen und wiederholt den Vorgang nach Kehrtwendung. Ergibt sich ein anderer Punkt II, so liegt der mittlere Punkt 3 genau in der Linie $A\ E$ und über ihm wird, wie oben vermerkt, berichtigt.

Die Genauigkeit f des rechten Winkels ist bei Winkelkreuz und Winkeltrommel mit etwa $f = \pm 4'$, beim Winkelspiegel mit $f = \pm 3'$, bei den Prismen im allgemeinen mit bis $f = \pm 2'$ anzunehmen.

Da der Hektometeraltminute (hm') nach [2,1] eine Querverschiebung von rund 3 cm entspricht, sind den vorigen Werten f Querverschiebungen von 12, 9, 6 cm auf 100 m Schenkellänge zugeordnet.

Will man aber z. B. bei der Detailaufnahme mit rechtwinkligen Koordinaten die Fußpunkte der Ordinaten auf ± 2 cm genau festlegen, dann dürfen diese Ordinaten in den erwähnten drei Fällen die Längen von 17, 23 und 34 m nicht überschreiten.

Wenn bei den Neuvermessungen des österreichischen Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen die Orthogonalmethode [Abschnitt *L*], d. h. die Aufnahme von Punktkoordinaten mit Hilfe von Winkelspiegel oder -prisma angewendet wird, dann sind in ebenem bzw. geneigtem Gelände Ordinatenlängen von höchstens 30 m bzw. 15 m zulässig. Für Punkte von Kulturen, Ufern usw. sind doppelte Werte gestattet[2].

Die gewöhnlichen Winkelspiegel und Prismengeräte versagen oft im Hügelgelände mit stärker geneigten Visuren, während bei den modernen Formen *(Hensoldt, Schellens)* durch einen Spiegelbelag der unteren und oberen Deckfläche die Sichtbarkeit der seitlichen Fluchtstäbe auch für steile Zielungen erreicht wird.

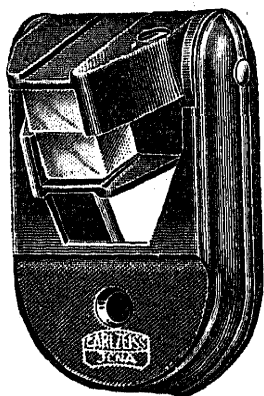



Abb. 67. *(Zeiß.)*

In Abb. 67 ist ein Doppelprisma von *Zeiß* dargestellt, für Handhabung mit Schnurlot, mit starrem Lotstab aus Holz, mit Pendelstab oder Fallstock. Die Verbindung des Prismas mit den Stäben wird durch Verschraubung bei der unten sichtbaren Lochung hergestellt. Bei Nichtgebrauch klappt man das Prisma in den Schutzrahmen ein.

Die bei der direkten Messung [24] von rechtwinkligen Koordinaten durch Straßenverkehr eintretende Behinderung und mit der Reduktionsrechnung für geneigte Strecken entstehende Verlangsamung des Arbeitsvorganges ist beim Gebrauch von zwei Geräten weitgehend herabgesetzt, die von *Zeiß* (Jena) als Lotstab-Entfernungsmesser Lodis bzw. Kipplodis konstruiert wurden.

Beide Instrumente sind auf Stativen zu benützen, geben den rechten Winkel durch ein Doppelprisma und besitzen ein Fernrohr

mit fest eingebauten Distanzmeßkeilen [25,243] für die optische Bestimmung der rechtwinkligen Koordinaten durch Ablesung an zwei lotrechten Latten, deren eine im Anfangspunkt der Abszissenzählung aufgestellt wird, während sich die zweite im einzumessenden Punkt befindet. Das Fernrohr von L o d i s ist bei einspielender Dosenlibelle des Lotstabes waagrecht, bei K i p p l o d i s aber außerdem noch auf Neigungen bis zu 30° einstellbar und ermöglicht damit auch rasche Arbeit im Berg- und Hügelgelände. Die Größe der Neigungsreduktion [24] für die ermittelte Schrägdistanz ist an dem Höhenbogen von K i p p l o d i s abzulesen. Als Genauigkeit der Distanzmessung ergibt sich eine solche von 1 cm pro 50 m. Für sehr stark geneigte Zielungen kann das Instrument mit einem sog. S t e i l s i c h t - P r i s m e n a u f s a t z ausgerüstet werden.

Als Übergang von diesen Festwinkelgeräten zu den Instrumenten für die M e s s u n g von Richtungen und Winkeln, erwähnen wir die d r e h b a r e n D o p p e l w i n k e l t r o m m e l n und die P r i s m e n t r o m m e l n.

Abb. 68.
Doppelwinkeltrommel
(Rost).

In beiden Fällen ist der obere Teil eines zylindrischen Gehäuses grob und fein verdrehbar gegenüber dem unteren festen Teil (Abb. 68). Die Drehachse des meist mit einem Stockstativ verbundenen Gehäuses wird freiäugig oder mittels Libelle lotrecht durch den Standpunkt gerichtet. Die beliebig große Winkeldrehung des oberen Teiles kann an der Umfangsteilung des unteren Trommelgehäuses mit einer Genauigkeit von etwa 2′—5′ abgelesen werden.

Oft tragen solche Instrumente für überschlägige Winkelmessung und Orientierung auf der oberen Abschlußfläche eine Bussole und als Diopter ausgebildete Zielschlitze in beiden Gehäuseteilen.

Bei der Prismentrommel ist jeder Winkelschenkel nicht durch Zielschlitze, sondern über zwei einfache Prismen einstellbar, deren eines im unteren Gehäuseteil feststeht, während sich das zweite Prisma mit dem oberen Trommelteil dreht.

18 Der Theodolit und seine Bestandteile

Die Bezeichnung Theodolit ist arabischen Ursprungs und durch Verschmelzung mit dem englischen Artikel the entstanden. Das Instrument (schematische Darstellung nach Abb. 69) besteht aus einem ortsfesten Unterbau, dem Limbus, und dem in ihm drehbaren Oberbau, der Alhidade. Das Wort Limbus ist der lateinischen Sprache entnommen und bezieht sich in seiner Bedeutung als „streifenförmiger Saum" eigentlich auf die Randteilung des Horizontal- oder Limbuskreises. Die wieder aus dem Arabischen stammende Benennung Alhidade (al' idhada) heißt Arm und gibt damit sinnvoll die Drehbarkeit und den Zweck dieses Instrumententeiles an.

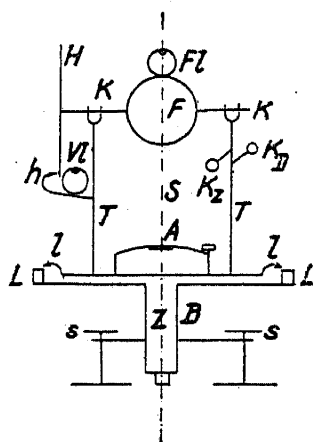
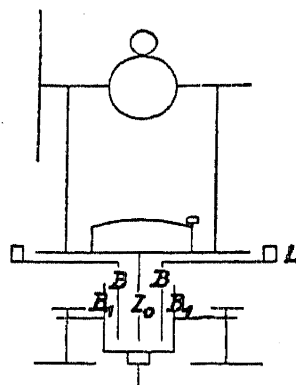



Abb. 69. Abb. 70.

Der Limbus (Limbuskreis L, Limbusbüchse B, Dreifuß) wird entweder auf einem Pfeiler aufgesetzt oder durch die Anzugschraube (Herzschraube) mit einem Stativ verbunden. Die Neigung der Stehachse des Instrumentes kann mit Hilfe von drei Stellschrauben s verändert werden. Als zweite Stellungslinie bezeichnen wir hinkünftig die Verbindungslinie von zwei Stellschrauben (s_2, s_3), als erste Stellungslinie aber die durch die dritte Stellschraube s_1 auf die zweite Stellungslinie gefällte Senkrechte ($s_1 m$) [19,71].

Die Alhidade (Fernrohrträger T, Fernrohr-Kippachse K, Fernrohr F mit Fernrohrlibelle Fl, meist linksläufig geteilter Höhenkreis H, Ableseeinrichtungen l bzw. h für den Limbuskreis L bzw. für den Höhenkreis H, Alhidadenlibellen A [18,1]) wird mit ihrem Alhidadenzapfen Z in der Limbusbüchse B geführt, so daß die Limbus- mit der Ahidadenachse zusammenfällt.

Bei den alten Theodolitformen finden wir ein konisches Achsensystem, dessen Gang sehr von Temperaturänderungen beeinflußt wird, so daß bei den für genauere Arbeiten vorgesehenen

schweren alten Instrumenten eine Gangregulierung notwendig war. Diesen Übelstand hat der geniale Konstrukteur Dr. h. c. *H. Wild* mit der Einführung eines zylindrischen Achsensystems bei dem ab etwa 1908 von den *Zeiß*-Werken in Jena gebauten Instrumenten behoben. Der letzte Stand der Entwicklung ist durch ein von Dr. *Wild* konstruiertes Vertikalachsensystem erreicht, das aus zwei mit größter Genauigkeit plan geschliffenen Laufflächen besteht, die auf Präzisionskugellagern mit einem besonderen Kugelhalter laufen [20].

Jene Gebrauchsstellung des Theodolits, in der sich der Höhenkreis links vom Beobachter befindet, nennt man Fernrohrlage I (FRL I) oder normale Fernrohrlage (FRL n).

Durchschlagen des Fernrohres (bei älteren Theodoliten nur über das Objektiv, bei neueren Instrumenten meist beidseitig, also auch über das Okular möglich) und Rückdrehung zum Ziel erzeugt die Fernrohrlage II (FRL II) oder verkehrte Fernrohrlage (FRL v) mit dem Höhenkreis rechts vom Beobachter. Die Kreisteilungen werden unter Verwendung von meist automatisch arbeitenden Kreisteilmaschinen [19,8] entweder auf Silberstreifen aufgetragen oder, bei neuzeitlichen Instrumenten, auf Glaskreisen, die völlig staubfrei abgeschlossen und spannungsfrei gelagert sind.

Theodolite mit einfachem Achsensystem (Abb. 69) haben eine mit dem Dreifuß fest verbundene Limbusbüchse B, während diese bei Instrumenten mit Repetitionseinrichtung (Abb. 70) in der Büchse B_1 des Dreifußes drehbar ist, so daß auch noch der Limbuskreis gegen den mit der Herzschraube am Stativ festgezogenen Dreifuß verstellbar ist. Bei modernen Theodoliten, mit sog. spannungsfreier Aufstellung, wird die Anzugschraube nicht in den Limbusdreifuß eingeführt, sondern in eine stählerne, federnde Spannplatte, die lediglich die Enden der Stellschrauben an die Unterlagsplatte drückt und diese zugleich an den Teller des Stativs preßt.

Zur Festhaltung der Alhidade und des Limbus (bei vorhandener Repetitionseinrichtung) bzw. der Höhenstellung des Fernrohres sind Klemmen vorgesehen, die als Ring-, Stich-, oder Bakenklemmen wirken.

Mit ihnen verbundene und unter Federdruck stehende Feinschrauben ermöglichen die feine Einstellung der Ziele nach Seite und Höhe.

Die grundlegenden Änderungen im Bau geodätischer Instrumente, die nicht nur im ganzen, sondern auch vor allem in der immer zweckmäßigeren Ausbildung der Einzelteile seit etwa 1908 durch die Erfindungen von Dr. *H. Wild* laufend veranlaßt wurden, haben derzeit beispielsweise dazu geführt, daß bei den neuesten, von Dr. *Wild* für die *Kern & Co. A.G.* konstruierten Instrumenten

die bisher üblichen Stellschrauben des Dreifußes verschwunden sind. Sie sind bei den Theodoliten durch Knöpfe mit horizontalen Achsen und Spiralnut [20] (Abb. 104) und bei den Nivellierinstrumenten [26,5] (Abb. 173) durch einen neuartigen Gelenkkopf ersetzt worden.

Die rein äußerlich auffallenden Unterschiede zwischen jener typischen, im Zeitenlauf nahezu unverändert gebliebenen „alten Bauart" und der weiter oben als „moderne oder neuzeitliche Bauart" benannten Theodolitform, die wesentlich die Erzeugnisse der Firmen *Kern* (Aarau, Schweiz), *Wild* (Heerbrugg, Schweiz) und *Zeiß* (Jena, Thüringen) kennzeichnen, betrachten wir vorerst nur an Hand der beiden Abb. 71 und 72, unter Hinweis auf spätere Ergänzungen in [20].

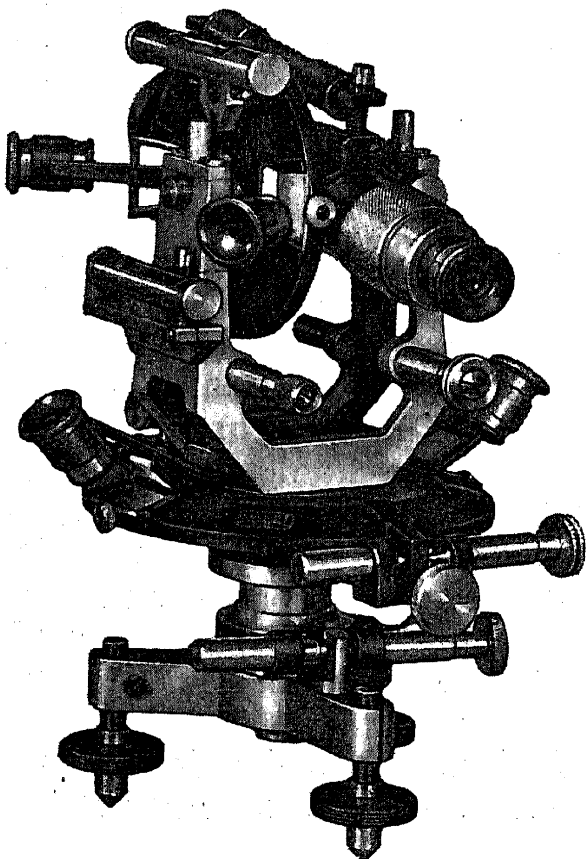



Abb. 71. *(Rost.)*

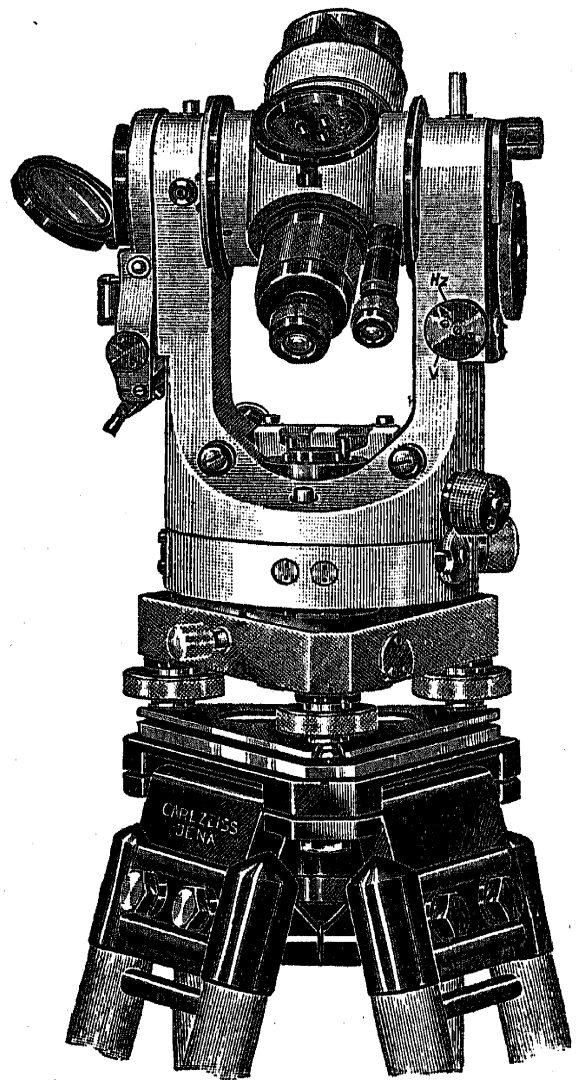



Abb. 72. *(Zeiß.)*

Die Abb. 71 stellt einen Nonientheodolit Nr. 73 E von *Rost* in Wien dar. Man erkennt die drei Stellschrauben im Dreifuß, darüber die Repetitionsfeinschraube. Nach oben folgt der Knopf der Alhi-

daden-Stichklemme und die Alhidaden-Feinschraube, die auf einen Fortsatz des Horizontalkreisverdecks einwirkt. Links und rechts vom hellen U-förmigen Fernrohrträger befinden sich die Lupen zur Ablesung der Horizontalkreis-Nonien. So wie in der schematischen Darstellung der Abb. 69 ist eine der beiden Alhidaden-Kreuzlibellen am linken Arm des Fernrohrträgers angebracht. Am rechten Arm sehen wir unter dem Okular des Fernrohres die Feinschraube für dessen Höhenbewegung. Am oberen Rand des mit zwei Nonien und Lupen ablesbaren Höhenkreises bemerkt man die Versicherungslibelle und über dem Fernrohr seine Nivellierlibelle.

Die Abb. 72 zeigt uns den Aufbau des Theodolites II von *Zeiß*, der in dieser Form seit 1940 nicht mehr erzeugt, sondern noch weitgehender vereinfacht wurde zum Theodolit 40.

Von der am Stativteller aufliegenden Spannplatte führen die drei Stellschrauben zum plattenartig kompakten Dreifuß. Löst man die links aus ihm tretende Schraube, so kann der ganze obere Theodolitkörper aus dem Dreifuß gehoben und gegen ein optisches Lot (Abb. 73) vertauscht werden.

Der im unteren Teil des gedrungen ausgeführten Fernrohrträgers liegende Horizontalkreis ist nach außen nicht mehr erkennbar und ebenso vollkommen geschützt abgeschlossen, wie der im linken Arm des Fernrohrträgers gelagerte Höhenkreis.

Am rechten Arm des Fernrohrträgers befindet sich von oben nach unten: ein Zapfen für die Festhaltung der Kippachsenlibelle, rechts der Knopf der Höhenklemme, darunter die flache Trommel für die Herstellung der Kreisablesung, knapp links von ihrem unteren Rand, mit der Bezeichnung *Hz* bzw. *V* der Schaltknopf für gewünschte Horizontal- bzw. Vertikalkreisablesung und schließlich der dunklere Knopf für Verdrehung des Horizontalkreises bzw. etwas tiefer der Knopf der Horizontalklemme.

Der linke Arm des Fernrohrträgers endet mit dem hier aufgeklappten Spiegel für die Beleuchtung beider Kreise. Im Fortsatz nach unten befindet sich die Versicherungslibelle des Höhenkreises mit dem Prismensystem zur Libelleneinstellung.

Rechts neben und gleichgerichtet mit dem Fokussierfernrohr liegt das Mikroskop für die Ablesung beider Kreise. Unter dem Fernrohr ist die eine zentral angebrachte Alhidadenlibelle sichtbar und vor ihr das Gehäuse einer Dosenlibelle. Die Feinschrauben für die Horizontal- und Höhenbewegung befinden sich auf der abgewendeten Instrumentseite. Am unteren inneren Ende des linken Fernrohrträgerarmes ist noch ein Stückchen der Einstellschraube für die Versicherungslibelle zu erkennen.

Zur zentrischen Aufstellung des Instrumentes über dem gegebenen Bodenpunkt dient im allgemeinen ein Senkel, das an einem Haken

der Herz- oder Spannschraube einzuhängen ist, oder ein optisches Lot. Dieses kann entweder im Dreifuß fest eingebaut sein (Abb. 74) oder aber austauschbar (Abb. 73) und in ihn, nach Aushebung des Instru-

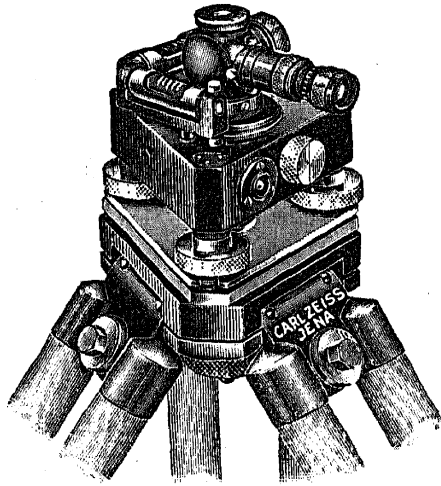



Abb. 73. (*Zeiß.*)
Optisches Lot mit horizontalem oder vertikalem Einblick.

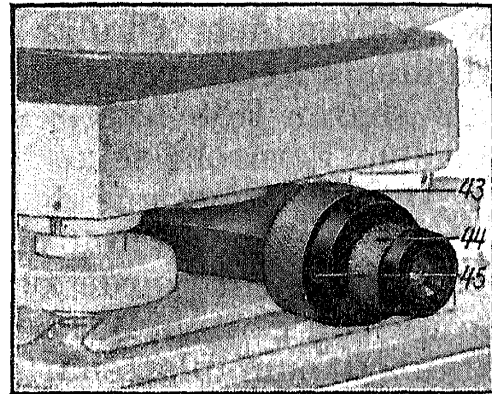



Abb. 74. (*Zeiß.*)
Fest eingebautes optisches Lot, 43, 44 Fadenkreuz-Schutzhülse, 45 Okular-Rändelring.

mentes, eingeführt werden. Es ist ein kleines Fernrohr, dessen Zielachse mit der Achse der Limbusbüchse zusammenfällt. Bei fest eingebauten optischen Loten ist die Achse, für Einblick von der Seite her, rechtwinklig über ein Prisma gebrochen.

Die Kippachse des Fernrohres ruht in den Achslagern der Fernrohrträger. Bei besseren Instrumenten alter Bauart ist eines dieser Lager über zwei durch Zug und Druck wirkende Richtschrauben (K_Z, K_D in Abb. 69) fein heb- und senkbar eingerichtet, während bei modernen Theodoliten die Kippachsenlager fest abgeschlossen sind.

Als Fernrohr-Zielachse Z' bezeichnet man die Verbindungslinie des optischen Mittelpunktes O des Objektivs mit dem Fadenkreuz-Mittelpunkt m (Abb. 91). Eine Verschiebung des Fadenkreuzes ist durch Richtschräubchen zu bewerkstelligen, die u. U. mit einer abschraubbaren Schutzhülse verdeckt sind.

Nach dieser Aufzählung der wichtigsten Bestandteile des Theodolites werden einzelne von ihnen hinsichtlich notwendiger theoretischer Unterlagen und praktischer Benutzung ausführlicher behandelt.

18,1 Libellen

Sie dienen im allgemeinen zur waagrechten Einrichtung von Geraden und Flächen, beim Theodolit als Alhidadenlibellen zur geforderten Lotrechtstellung der Alhidaden- oder Stehachse S und zur

Festlegung des Horizontes (Fernrohr-, Nivellier-, Höhenkreis-Versicherungslibelle).

Röhrenlibellen entstehen, nach tonnenförmigem Ausschliff eines Glasrohres und entsprechend bemessener Füllung mit Alkohol oder Äther, durch Abschmelzung des Röhrenendes und Einbau in eine Metallhülse.

Die Lage der Libellenblase wird auf eine abgesetzte oder durchlaufende Teilung bezogen, die mit dem Intervall v (meist $v = 2$ mm) in der äußeren Rohrwandung eingeätzt ist. Die Figur (Strichgröße, Bezifferung) dieser Teilung weist auf jenen nahe ihrer Mitte liegenden sog. Spielpunkt hin, über dem sich die Blasenmitte befinden muß, wenn wir die Libelle als „einspielend" oder „im Spiel" bezeichnen.

Die Libelle zeigt einen Ausschlag von 1 Intervall (pars) oder k Intervallen (partes), wenn die Blasenmitte vom Spielpunkt in diesem Ausmaß abweicht.

Legen wir im Spielpunkt N die Tangente n an den Kreisbogen (Radius r) des Libellenschliffes, dann erkennen wir, daß die Spielpunkttangente n waagrecht liegt, wenn die Libelle einspielt.

Als Empfindlichkeit oder Angabe τ der Libelle bezeichnen wir jene Neigungsänderung der Spielpunkttangente, bei der sich die Libellenblase um 1 Intervall verschiebt, so daß

$$\tau'' = \frac{v}{r}\varrho'' \quad (\text{z. B. } v = 2\,\text{mm},\ r \doteq 20\,\text{m},\ \tau'' \doteq 20'').$$

Eine Doppel- oder Wendelibelle entsteht durch beidseitigen Ausschliff des Glasrohres mit dem gleichen Schliffradius und derartiger Aufätzung der Teilungen, daß die zugehörigen Spielpunkttangenten parallel sind.

Wird eine Röhrenlibelle auf einer Unterlagsplatte befestigt, so bezeichnen wir sie als Setzlibelle. Die Lage ihrer Spielpunkttangente kann gegen die Aufsetzfläche durch endseitige Richtschräubchen verändert werden.

Dosenlibellen entstehen bei Kalottenausschliff eines Glaskörpers. Der Pol der Kalotte ist als Spielpunkt durch die Mitte eines Kreises auf der Außenwand angedeutet, der zur symmetrischen Einfassung der Libellenblase dient. In diesem Fall spielt die Dosenlibelle ein und ihre Spielpunktebene ist waagrecht.

Die grundsätzliche Verwendung einer Libelle wollen wir mit dem Vorgang der Prüfung und Berichtigung einer Setzlibelle erläutern, von der wir fordern, daß ihre Spielpunkttangente parallel sei zur Auflagefläche, was auch bedeutet, daß diese normal stehe auf dem Spielpunktradius des Schliffkreises. Wir benötigen hiezu eine fein

neigbare Unterlage, etwa ein sog. Prüf- oder Legebrett, das an einem Ende mit einer Schraube gehoben oder gesenkt werden kann.

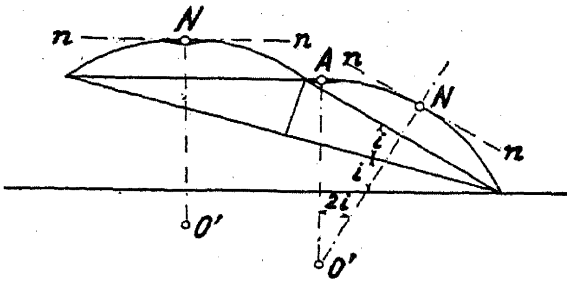
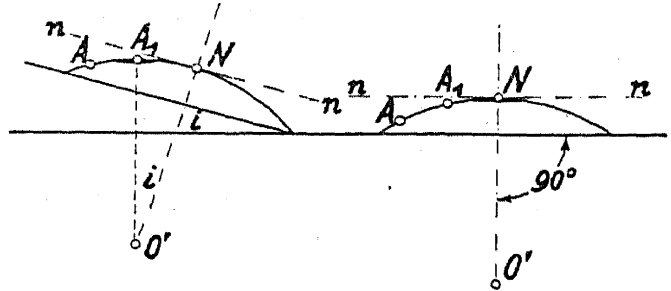



Abb. 75 a. Abb. 75 b. Abb. 75 c.

Vorgang der Prüfung

1. Aufsetzen der Libelle und zum Spiel bringen durch Neigen der Unterlage. Die Spielpunkttangente n ist waagrecht, die Unterlage aber unter dem Winkel i geneigt (Abb. 75 a links).

2. Wendung (Umsetzung) der Libelle um 180° bringt n in die Neigung $2i$. Die Libellenblase in A zeigt den Ausschlag $\widehat{AN}$ an, der dem Winkel $2i$ entspricht (Abb. 75 a rechts).

Vorgang der Berichtigung

1. Drehung der Richtschraube der Libelle, bis die Hälfte des vorigen Ausschlages beseitigt ist. Die Blase steht in A_1, die Spielpunkttangente ist parallel zur Unterlage (Abb. 75 b), und die Libelle ist daher im Sinne der gestellten Forderung berichtigt.

2. Senkung der Unterlage bis zum Einspielen der Libelle gibt waagrechte Unterlage (Abb. 75 c).

Das Ergebnis dieser Überlegungen werden wir später sinngemäß bei der Prüfung, Berichtigung und Verwendung der verschiedenen Theodolitlibellen benützen.

Die Libellen ermöglichen aber nicht nur die Horizontal- oder Lotrechtstellung von Ebenen und Geraden, sondern auch die genaue Messung von Neigungen und Richtungsänderungen, wenn die Libellenangabe τ bekannt ist.

Wir können diesen Betrag entweder mit einem Libellenprüfgerät ermitteln oder durch feste Verbindung der Libelle mit einem neigbaren Fernrohr.

1. Der Libellenprüfer erzeugt mit einer Umdrehung seiner Meßschraube eine bestimmte Neigung i seiner Auflagefläche. Wird die Libellenblase durch k Umdrehungen der Meßschraube (also durch

eine Neigungsänderung $k \cdot i$) um p Intervalle v der Libellenteilung verschoben, so ergibt sich $ki = p\tau$ und

$$\tau = \frac{ik}{p}.$$

Ist g die Ganghöhe der Meßschraube und l die wirksame Länge des Libellenprüfers, dann erhält man den erforderlichen Wert i aus

$$i = \frac{g}{l}.$$

Dieser Betrag kann, wenn er am Gerät nicht vermerkt sein sollte, bestimmt werden durch Abdruck der Meßschraube auf Papier, Abzählung der Gänge und genaue Messung der ihnen entsprechenden Strecke.

2. Für eine Libelle, die mit einem Fernrohr in feste Verbindung gebracht wurde, ermittelt man den Neigungswinkel i, der einer Blasenbewegung von p Teilungsintervallen v entspricht, aus der gleich großen Neigungsänderung der Fernrohrzielung, u. zw. durch Beobachtung an einer in der Entfernung D lotrecht aufgestellten Latte. Wird die Lattenablesung um L Meter verschoben, so ist

$$i = \frac{L}{D} \text{ und } \tau = \frac{i}{p} = \frac{L}{Dp}.$$

Bei Vorhandensein eines mit großer Genauigkeit ablesbaren Höhenkreises, kann i auch aus dem Unterschied der Kreisablesungen bestimmt werden.

Je nach der Figur der Libellenteilung unterscheiden wir abgesetzte Teilung, wo, bei berichtigter Libelle, deren Spielpunkt N mit dem in der Teilungsmitte befindlichen Nullpunkt 0 zusammenfallen soll, oder durchlaufende Teilung mit randseitig befindlichem Nullpunkt 0.

Neigungsmessung und Spielpunktbestimmung (Achsnivellement).

I. Libelle mit abgesetzter Teilung.

1. Libelle auf Unterlage setzen (Abb. 76) und Ablesung l_1 des linken bzw. r_1 des rechten Blasenendes (l bzw. r ist links bzw. rechts vom Nullpunkt positiv zu zählen). Man erhält

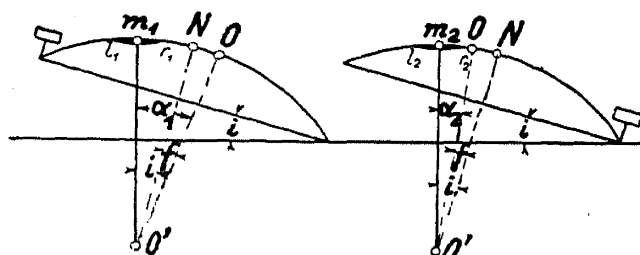



Abb. 76. Abb. 77.

$$m_1 = \frac{l_1 - r_1}{2}, \qquad \alpha_1 = m_1 \cdot \tau = i + f, \qquad f = \widehat{NO} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

2. Libelle wenden (umsetzen) (Abb. 77) und wie vorhin ablesen:

$$m_2 = \frac{l_2 - r_2}{2}, \qquad \alpha_2 = m_2 \cdot \tau = i - f \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

3. Die Neigung i ergibt sich durch Addition von (1) und (2), nämlich

$$i = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} = \frac{\tau}{4}\left\{(l_1 - r_1) + (l_2 - r_2)\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

4. Die Spielpunktablesung f findet man durch Subtraktion (1) — (2), nämlich

$$f = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} = \frac{\tau}{4}\left\{(l_1 - r_1) - (l_2 - r_2)\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Beispiel: $\tau = 20''$, $l_1 = +26$, $r_1 = -14$ (d. h. rechtes Blasenende links vom Nullpunkt), Blasenlänge $= l_1 + r_1 = 12$; $l_2 = +18$, $r_2 = -6$, $l_2 + r_2 = 12$.

$$i = 5''\,\{40 + 24\} = 320'',$$
$$f = 5''\,\{40 - 24\} = 80''$$ (entspr. 4 Intervallen).

Berichtigung: Durch Drehung der Richtschraube verlegt man den Teilungs-Nullpunkt 0 um f (hier 4 Intervalle) in den Spielpunkt N, d. h. bis zur Blasenlage $l_2 = 22$, $r_2 = -10$. Nach Umsetzen der Libelle ergibt sich nun $l_1 = 22$, $r_1 = -10$, also

$$i = 5''\,\{32 + 32\} = 320'', \quad f = 5''\,\{32 - 32\} = 0.$$

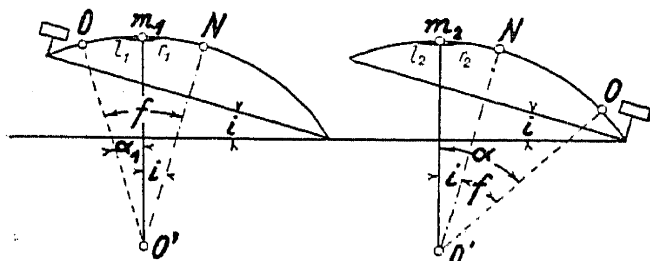
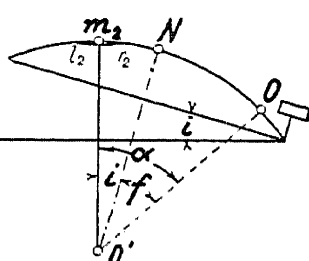
Bei praktischer Arbeit läßt man die Libelle vorerst durch Bewegung der Unterlage einspielen ($l_1 = r_1$, $m_1 = 0$) und liest nach dem Umsetzen ab: l_2, r_2. In diesem Fall entsteht aus (3) bzw. (4)

$$i = -f = \frac{\tau}{4}\left\{l_2 - r_2\right\} \quad \ldots\ldots \quad (5)$$

Abb. 78. Abb. 79.

In Abb. 79 ist α_2 anstelle von α zu setzen.

II. Libelle mit durchlaufender Teilung.

Bei Einhaltung des eben beschriebenen Beobachtungsvorganges und mit gleichartigen Bezeichnungen erhalten wir in der ersten Libellenlage (Abb. 78):

$$m_1 = \frac{l_1 + r_1}{2}, \qquad \alpha_1 = m_1 \tau = f - i;$$

in der zweiten Libellenlage (Abb. 79):

$$m_2 = \frac{l_2 + r_2}{2}, \qquad \alpha_2 = m_2\, \tau = f + i;$$

die Neigung

$$i = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} = \frac{\tau}{4}\left\{(l_2 + r_2) - (l_1 + r_1)\right\}$$

und die Spielpunktablesung

$$f = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{\tau}{4}\left\{(l_2 + r_2) + (l_1 + r_1)\right\}.$$

Diese soll, ausgedrückt in Teilungsintervallen, mit dem u. U. noch besonders hervorgehobenen Mittelpunkt der Teilung zusammenfallen.

Beispiel: $\tau = 4''$, $l_1 = 10$, $r_1 = 35$, Blasenlänge $r_1 - l_1 = 25$;
$l_2 = 66$, $r_2 = 41$, Blasenlänge $l_2 - r_2 = 25$;

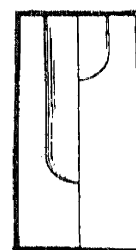
$$i = 1''\left\{107 - 45\right\} = 62'',$$

$$f = 1''\left\{107 + 45\right\} = 152'', \text{ (entspr. 38 Intervallen).}$$

In der von 0—80 bezifferten Teilung weicht daher der tatsächliche Spielpunkt um 2 Intervalle vom Mittelpunkt 40 ab. Wollte man diesen an sich bedeutungslosen Unterschied beseitigen, dann müßte nun durch Bewegung der Libellenrichtschraube die Blase auf die Ablesung $l_2 = 68$, $r_2 = 43$ gebracht werden. Nach Umsetzen in die Ausgangslage findet man $l_1 = 12$, $r_1 = 37$ und $i = 1''\left\{111 - 49\right\} = 62''$, $f = 1''\,(111 + 49) = 160''$, entsprechend dem Sollwert von 40 Intervallen.

Wenn der Beobachter zwecks Ablesung der Libelle seine Stellung ändern muß, so kann dies u. U. empfindliche Libellen beeinflussen. Man hat daher durch geeignete Anbringung eines Spiegels bewirkt, daß z. B. schon eine geringe Kopfbewegung zum Erblicken des Libellenbildes hinreicht [26]. Die schädliche Wirkung der zwischen Blase und Teilung immer vorhandenen Parallaxe muß durch senkrechte, bei Spiegelablesung auch symmetrische Blickrichtung möglichst verringert werden. Eine sehr weitgehende Steigerung der Beobachtungsgenauigkeit ist durch die von Dr. h. c. *H. Wild* in den Instrumentenbau eingeführte Libellenablesung erreicht worden, bei der ein Prismensystem die Blasenenden nebeneinander und daher gleichzeitig beobachtbar abbildet (Abb. 80).

Abb. 80. *(Zeiß.)*

Als einspielende Libelle bezeichnen wir dann jene Stellung, in der die beiden Blasenhälften zusammenfallen und eine einzige Kuppe bilden [21,2], [26,5], wie es z. B. in den Abb. 167, 170 angegeben ist.

18,2 Ableseeinrichtungen

Jeder Meßvorgang bringt stets eine Meßmarke in eine bestimmte Stellung zur Teilung des verwendeten Maßstabes. Die Angabe dieser Stellung heißt Ablesung und zerfällt in ihren groben Betrag (d. i. die Nennung der kleinsten Intervalle a der Teilung bis zum letzten Teilstrich vor der Meßmarke) und in die feine Ablesung, d. i. die Bestimmung des Reststückes zwischen der groben Ablesung und der

Meßmarke. Maßstabteilung und Meßmarke müssen stets parallaxfrei, d. h. in einer Ebene liegen. Jede Ablesung wird durch eine günstige Figur (Strichlänge, Anordnung, Bezifferung) erleichtert.

Wenn nur eine einfache Meßmarke (Strich, Index) vorhanden ist, so bestimmt man die Feinablesung durch Schätzung, u. zw. immer der Zehntel des kleinsten Teilungsintervalls a.

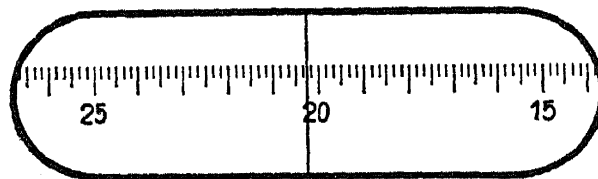



Abb. 81. *(Zeiß.)*

Die Grobablesung des Indexstriches von Abb. 81 auf der 360°-Teilung gibt den Wert 20° 10′, denn er steht zwischen den Strichen 20° 10′ und 20° 20′. Als Feinablesung schätzen wir den Abstand zwischen 20° 10′ und dem Indexstrich mit $\frac{6}{10}$ des Teilungsintervalles ($a = 10'$), also mit 6′ und erhalten die Gesamtablesung $20^\circ 10' + 6' = 20^\circ 16'$.

Eine weitere Verschärfung der Feinablesung läßt sich durch Hilfsmaßstäbe (Nonius, Skala, Meßschraube) und zusätzliche Anwendung von optischen Hilfsmitteln (Lupe, Mikroskop, optisches Mikrometer) erzielen.

18,21 Nonius

Es ist dies ein Hilfsmaßstab mit dem kleinsten Intervall b zur Verschärfung der Feinablesung, deren schnelle Bestimmung durch eine zweckmäßige Teilungsfigur sehr gefördert wird.

Wir erwähnen den im geodätischen Instrumentenbau kaum in Verwendung kommenden vortragenden Nonius, bei dem n Intervalle b, $n + 1$ Teilen a des Maßstabes entsprechen.

Die Teilung des nachtragenden Nonius ist so ausgeführt (Abb. 82), daß n Intervalle b mit $n - 1$ Teilen a des Maßstabes übereinstimmen, und wir erhalten die folgende Beziehung als sog. Noniusgleichung

$$n \cdot b = (n - 1) \cdot a.$$

Den Unterschied $a - b = \nu$ bezeichnen wir als Noniusangabe oder Noniuseinheit, und damit ergibt sich aus der obigen Beziehung

$$n \cdot \nu = a, \qquad \nu = \frac{a}{n}.$$

Zur praktischen Ermittlung der Noniusangabe hat man daher den Wert des kleinsten Intervalls a der Maßstabsteilung durch die Anzahl n der kleinsten Intervalle der Noniusteilung zu dividieren.

Stellt man fest, daß der Noniusstrich x mit einem beliebigen Strich der Maßstabteilung genau übereinstimmt und schließt daher, daß der erste gegen den Noniusnullpunkt (= Ablesemarke) gelegene Noniusstrich dann vom nächsten Strich des Maßstabes um die Noniusangabe ν absteht, so erkennen wir, daß die Ablesemarke vom Strich der Grobablesung den Abstand $x \cdot \nu$ erhält. Die Abzählung des Wertes x wird durch die erwähnte zweckmäßige Figur der Noniusteilung erleichtert bzw. abgekürzt. Haben wir z. B. eine Kreisteilung mit $a = 20'$ und am Nonius $n = 60$, also $\nu = 20''$, so wird jeder dritte Noniusstrich länger gezogen, wodurch die sog. Minutenfigur entsteht, zur rascheren Erfassung der vollen Bogenminuten für die Feinablesung.

Da die Koinzidenz zweier Teilstriche mit Hilfe nebenliegender gleichabständiger Striche wesentlich schärfer beurteilbar ist [15,1], sind außerhalb der Null- und Endmarke der Noniusteilung sog. Überstriche vorgesehen; sie dienen jedoch nur zur Verfeinerung der Ablesung an den Noniusenden und dürfen bei Bestimmung der Anzahl n der kleinsten Noniusintervalle nicht mitgezählt werden.

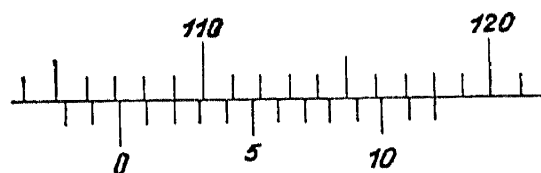



Abb. 82.

Für die Abb. 82 stellen wir fest $a = 1$, $n = 10$, $\nu = 0{,}1$; Grobablesung: 107, Feinablesung: 2, Gesamtablesung: 107,2.

Hinsichtlich weiterer Beispiele für Noniusablesung sei auf die Abb. 142, 145, 150 verwiesen.

Bei Nonien mit verhältnismäßig großer Angabe ν ergibt es sich oft, daß zwei benachbarte Noniusstriche ziemlich gleich gut mit Maßstabstrichen übereinstimmen. In diesem Fall nimmt man das Mittel der entsprechenden Feinlesungen, was einer Schätzung der halben Noniusangabe gleichkommt.

Die Aufsuchung der Koinzidenzstelle wird wesentlich gefördert, wenn man nach Schätzung der Feinablesung sogleich den Blick auf die entsprechende Noniusstelle richtet. Dabei muß das Auge knapp an der Hilfslupe liegen und diese so weitergeführt werden, daß der betrachtete Strich unverzerrt sich in der Gesichtsfeldmitte befindet.

Wird z. B. bei Theodoliten älterer Form ein Kreisbogennonius durch langen Gebrauch etwas abgeschliffen und später, zur Wegschaffung der entstandenen Parallaxe, an die Hauptteilung angerückt, so ist er etwas zu kurz. Ein größerer

Unterschied d kann bestimmt und bei jeder Noniusablesung x durch die Verbesserung $\frac{x}{n} \cdot d$ berücksichtigt werden.

18,22 Skala

Sie entsteht durch zweckmäßige Unterteilung eines kleinsten Maßstabintervalls a in n Skalenintervalle s, so daß sich die Skalenlänge $n \cdot s = S = a$ ergibt. Der meist länger gezogene oder sonstwie bezeichnete bzw. in der Teilungsrichtung zuletzt stehende Nullstrich der Skala dient als Meßmarke. Die Grobablesung erhält man durch Nennung jenes Maßstabstriches, der in die Skala weist, und die Feinablesung, d. h. der Abstand dieses Striches von der Meßmarke, wird durch Abzählung der vollen Intervalle s bzw. Restschätzung s t e t s nach Zehntelintervallen ermittelt.

In der Abb. 83 sind einige typische Skalenformen dargestellt, nämlich

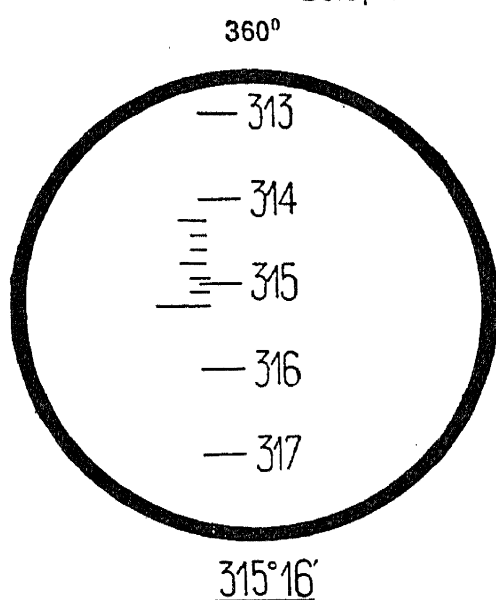
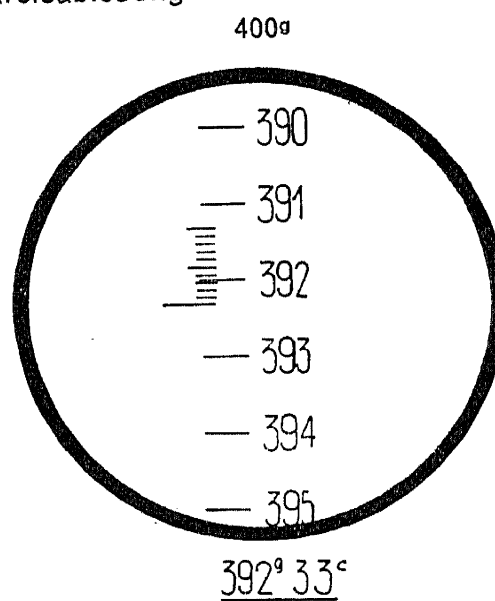



Abb. 83 a. *(Wild.)* Abb. 83 b. *(Wild.)*

Abb. 83 a: $a = 1°$, $n = 6$, $s = 10'$, Schätzung $\frac{s}{10} = 1'$,

Abb. 83 b: $a = 1^g$, $n = 10$, $s = 0{,}1^g$, Schätzung $\frac{s}{10} = 1^c$,

Abb. 83 c: $a = 20'$, $n = 10$, $s = 2'$, Schätzung $\frac{s}{10} = 0{,}2' = 12''$,

Abb. 83 d: $a = 1^g$, $n = 100$, $s = 0{,}01^g$, Schätzung $\frac{s}{10} = 0{,}001^g \doteq 10^{cc}$.

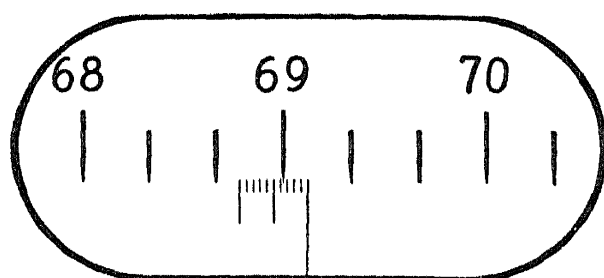



Abb. 83 c. *(Zeiß.)*

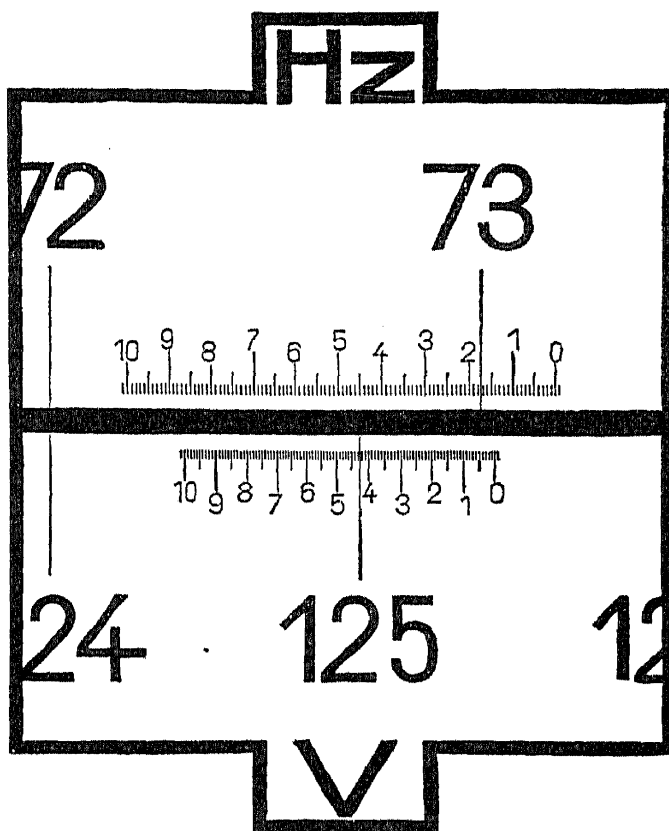



Abb. 83 d. *(Zeiß.)*

18,23 Meßschraube

Die Ganghöhe des mit großer Genauigkeit geschnittenen Gewindes stimmt entweder mit dem Maßstabintervall a oder einem günstig gewählten Bruchteil überein. Die Bewegung der Schraubenspindel wird nach ganzen Umdrehungen an einer Skala mit dem Intervall g, hinsichtlich des Restes auf der Umfangsteilung einer Meßtrommel abgelesen. Der O r t der Meßmarke ist durch die Nullablesung der Meßschraube gegeben, also durch jene Spindellage, in der Skala und Meßtrommel auf Null eingestellt sind. Zur Herbeiführung von kleinen, u. U. notwendig werdenden Verschiebungen der Meßmarke, ist die Meßtrommel, die durch Reibung straff auf der Spindel haftet, nach Überwindung eines geringen Widerstandes gegen diese verdrehbar.

Durch den beschränkt genauen Schnitt der Gewinde von Schraubenspindel und -mutter entstehen Fehler, die in ihrer Gesamtheit als regelmäßige und unregelmäßige Schraubenfehler [19,8] wirksam werden.

Der zufolge Lagerluft zwischen dem Spindel- und Muttergewinde entstehende tote Gang wird durch Federdruck weitgehend gemindert. Jede Schraubenbewegung zum Zweck einer Einstellung soll gegen den Federdruck, also unter Anspannung der Feder, ausgeführt wer-

den, was bei fast allen Meßschrauben durch Drehung im Uhrzeigersinn eintritt.

18,24 Meßmikroskope

Durch Einbau eines der genannten Meßmittel in die Bildebene eines Mikroskops entsteht, bei Erfüllung gewisser Bedingungen, ein Meßmikroskop.

Die einfachste Form, das Strichmikroskop (Abb. 81), zeigt als Ablesemarke einen Strich, der parallaxfrei und parallel zu den Strichen des Teilungsbildes liegen muß. Man schätzt mit ihm die Zehntel des Maßstabintervalls a.

Ist im Gesichtsfeld ein Glasplättchen mit mikrophotographisch aufgetragenem oder eingeritztem Nonius bzw. einer Meßskala vorhanden, so sprechen wir dort vom Nonius- bzw. hier vom Skalenmikroskop. Da sich bei diesem die Feinablesung durch Schätzung ergibt, wird es auch Schätzmikroskop genannt.

Beim Schraubenmikroskop erfolgt die Ablesung mit Hilfe einer Meßschraube.

In diesen drei Fällen müssen die in [16,2] aufgestellten Forderungen hinsichtlich der Parallaxfreiheit und der Größengleichheit von Bild und Meßmittel durch Abstimmung des Mikroskops in der a. a. O. geschilderten Art verwirklicht werden.

Da der Meßvorgang mit einem Noniusmikroskop durch die für den gewöhnlichen Nonius gegebenen Hinweise [18,21] erläutert ist, soll nur die Verwendung der Skalen- und Schraubenmikroskope näher dargestellt werden, u. zw. an Beispielen für die Ablesung von Kreisteilungen.

18,241 Skalenmikroskope

für Sexagesimalteilung

A. Teilungsintervall $a = 10'$, Anzahl der Skalenintervalle $n = 10$,

Skalenintervall $s = 1'$, Schätzung $\frac{s}{10} = 6''$.

Da beim Theodolit, wie wir noch in [19,2] sehen werden, die Ablesungen beider Mikroskope zu mitteln (zu zentrieren) sind, erhält man z. B.: (in Abb. 84 a gilt der in der Teilungsrichtung rechtsliegende, nicht besonders hervorgehobene Strich als Ablesemarke) für das Mikroskop links vom Beobachter $l = 5^\circ 50' + 3{,}8' = 5^\circ 53' 48''$

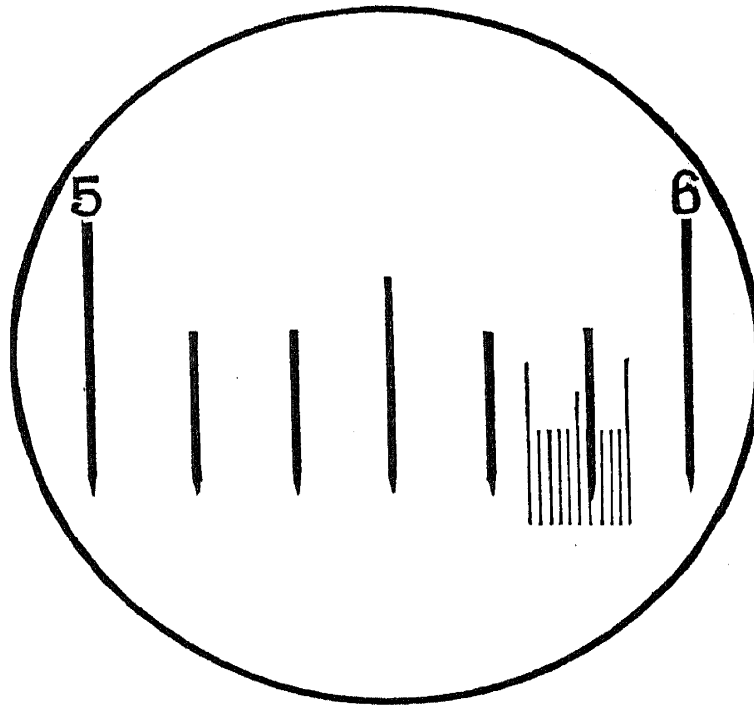



Abb. 84a. *(Neuhöfer.)*

und in ähnlicher Weise für das Mikroskop rechts vom Beobachter z. B.

$$r = 185^0\,50' + 3{,}7' = 185^0\,53'\,42''.$$

Bei üblicher Festhaltung der Grobablesung von l entsteht das zentrierte Mittel:

$$L = 5^0\,53'\,45''.$$

B. $a = 20'$, $n = 10$, $s = 2'$, Schätzung $\frac{s}{10} = 12''$.

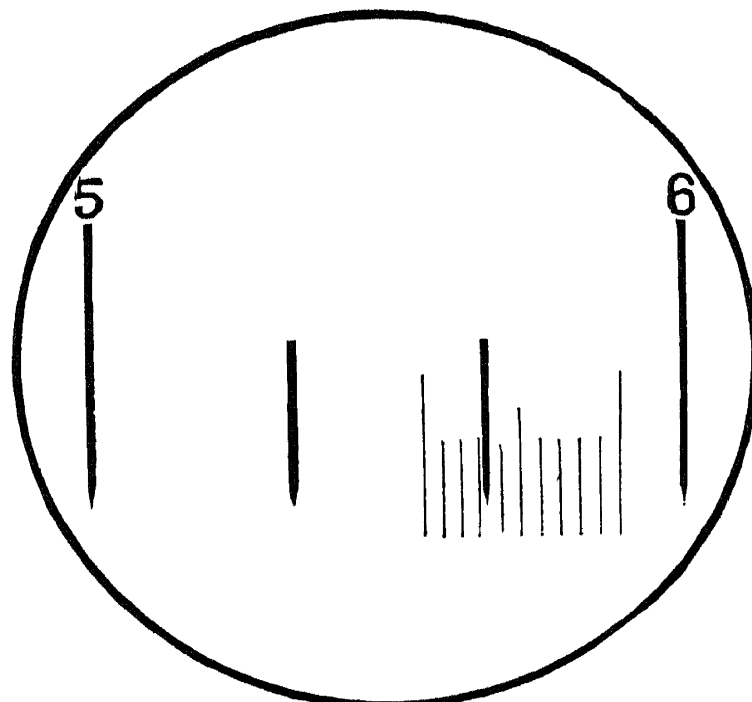



Abb. 84b. *(Neuhöfer.)*

Ähnlich wie vorhin ergibt sich (links vom Beobachter nach Abb. 84 b, in der gleichfalls der rechte Skalenendstrich als Ablesemarke dient)

$$l = 5^0\,40' + 6{,}7\,\mathrm{s} = 5^0\,40' + 6{,}7 . (2') = 5^0\,40' + 13{,}4' = 5^0\,40' + 13'\,24'',$$
$$l = 5^0\,53'\,24''$$

und am Mikroskop rechts z. B.: $r = 185^0\,53'\,12''$, mit dem zentrierten Mittel:

$$L = 5^0\,53'\,18''.$$

Praktisch wird man die hier nur des Verständnisses wegen angedeutete Umwandlung der Skalenteile s in Bogenminuten n i c h t ausführen, da, wegen der schließlichen Mittelbildung, die Summe der Skalenteile von l und r unmittelbar die Bogenminuten des zentrierten Mittels angibt, nämlich:

$$\left.\begin{aligned} l &= 5^0\,40' + 6{,}7\,\mathrm{s}, \\ r &= 185^0\,40' + 6{,}6\,\mathrm{s}, \end{aligned}\right\} \text{zentriertes Mittel: } L,$$

$$L = 5^0\,40' + \frac{6{,}7 \cdot (2') + 6{,}6 \cdot (2')}{2} = 5^0\,40' + 13{,}3',$$

$$L = 5^0\,53'\,18''.$$

Noch praktischer kann man jedes Teilungsintervall $a = 20'$ wie 10 Skalenteile zählen und demnach ablesen

$$\left.\begin{aligned} l &= 5^0\,26{,}7\,\mathrm{s}, \\ r &= 185^0\,26{,}6\,\mathrm{s}, \end{aligned}\right\} \text{zentriertes Mittel: } L,$$

$$\mathrm{L} = 5^0 + \frac{26{,}7 \cdot (2') + 26{,}6 \cdot (2')}{2} = 5^0 + 53{,}3',$$

$$L = 5^0\,53'\,18''.$$

F ü r Z e n t e s i m a l t e i l u n g :

C. $a = 0{,}20^g$, $n = 20$, $s = 0{,}01^g$, Schätzung $= \frac{s}{10} = 0{,}001^g$.

Ablesung und Mittelbildung wie obiges Beispiel A.

D. $a = 0{,}20^g$, $n = 10$, $s = 0{,}02^g$, Schätzung $= \frac{s}{10} = 0{,}002^g$.

Ablesung und vorteilhafte Mittelbildung wie obiges Beispiel B.

18,242 Schraubenmikroskope

Die Meßschraube bewegt einen Schlitten derart, daß ein auf ihm aus Spinnfäden gespannter oder auf einem Glasplättchen aufgetragener Doppelstrich in der Bildebene des Mikroskops verschoben wird, in die auch die zur Zählung der ganzen Umdrehungen dienende, als Zählrechen ausgebildete Skala verlegt ist. Der durch Lochung oder sonstwie hervorgehobene Nullzahn dieses Rechens stellt den ungefähren Ort der Meßmarke dar. Er ist genau durch jene Lage der Mittellinie des Doppelfadens gegeben, bei der dieser die Spitze des Nullzahnes einfaßt und die Meßtrommel scharf auf Ablesung Null steht.

Zur Vermeidung von Ablesungsirrtümern wird man, insbesonders als Anfänger, einmalig v o r Beginn der Messung (z. B. gelegentlich des Punktes 4 der später dargestellten Ermittlung der Mikroskopangabe) diese Meßmarkenstellung wirklich erzeugen, d. h. die Spitze des Nullzahnes so gut als möglich mit dem Doppelfaden einfassen und — wenn die Trommelablesung dann nicht hinreichend genau Null ergeben sollte — unter Festhaltung der Schraubenspindel mit dem Trommelknopf, die Trommel auf die Ablesung Null verdrehen.

Während der Messung darf n i e d i e T r o m m e l selbst berührt werden, sondern die Schraube ist immer nur mit dem T r o m m e l k n o p f zu drehen.

Der Beobachtungsvorgang gliedert sich in die Ermittlung der Grobablesung, durch Nennung jenes Teilstriches, der in den Zählrechen weist, und der Feinablesung, die sich ergibt, wenn man diesen Teilstrich mit dem Doppelfaden scharf einfaßt, die vollen Umdrehungen K der Meßschraube am Zählrechen feststellt und den Rest als die Anzahl k kleinster Trommelintervalle abliest.

Ältere, aber noch gut gebrauchbare Schraubenmikroskop-Theodolite besitzen oft zwei Teilungen, von denen die eine, unbezifferte, in dem verhältnismäßig kleinen Gesichtsfeld der Mikroskope erscheint und zur Einstellung des Doppelfadens dient. An der zweiten bezifferten Teilung mit größeren Intervallen wird, knapp neben einem der Mikroskope, durch einen Indexstrich oder eine Skala mit Lupe oder durch ein zusätzliches kleines Strich- bzw. Skalenmikroskop die Grobablesung bestimmt.

Für eine förderliche Abwicklung der Beobachtungsarbeit ist die wohlüberlegte Ermittlung der Mikroskopangaben unerläßlich. Wir halten hiebei den folgenden Vorgang ein:

1. Ermittlung des kleinsten Intervalls a der Hauptteilung.

2. Feststellung der Anzahl n der Zahnintervalle z des Zählrechens, dessen Länge $n \cdot z$ mit dem obigen Intervall a ungefähr übereinstimmt $\left(z = \frac{a}{n}\right)$.

Wir werden hinkünftig, wie es üblich ist, an Stelle der richtigen Bezeichnung „Zahnintervall“, kurz den Ausdruck „Zahn“ gebrauchen.

3. Bestimmung der Anzahl t der kleinsten Trommelintervalle b.
4. Ermittlung des Winkelwertes eines solchen Trommelintervalls b.

Nach Überprüfung oder Herbeiführung der richtigen Meßmarkenlage (entsprechend dem früher geschilderten Vorgang) muß die Trommelablesung nahezu Null ergeben, wenn der Doppelfaden die Spitze des Nullzahnes oder überhaupt eine Zahnspitze des Zählrechens einfaßt. Man erteilt nun der Schraube eine volle Umdrehung, beobachtet, um welchen Betrag Z der Doppelfaden über dem Zählrechen verschoben wurde und berechnet den zugehörigen Winkelwert des Trommelintervalls aus $b = \frac{Z}{t}$.

Am häufigsten finden wir in der Praxis Schraubenmikroskope mit $b = 1''$ (Sekunden-Mikroskop), $b = 2''$ (Doppelsekunden-Mikroskop) und $b = 4''$ (Viersekunden-Mikroskop), deren Verwendung durch die nachstehenden Hinweise und Beispiele kurz erläutert wird.

A. Sekunden-Mikroskop (Abb. 85 a).

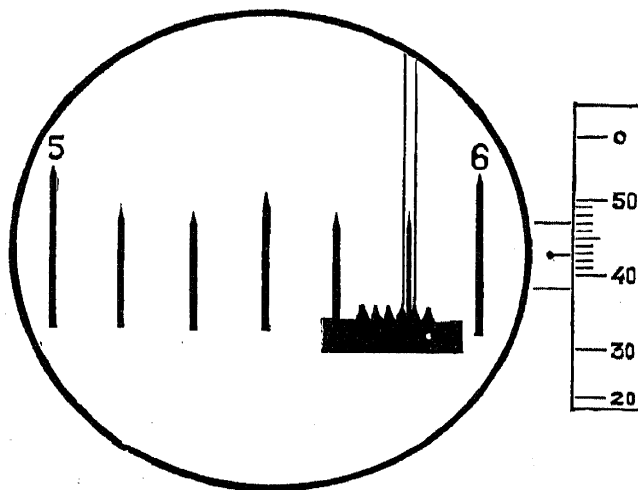



Abb. 85 a. *(Neuhöfer.)*

1. $a = 10'$, 2. $n = 5$, $(z = 2')$, 3. $t = 120$ Teile b (2 Nullstellen auf der Trommelteilung), 4. eine Umdrehung erzeugt die Fadenverschiebung $Z = z = 2'$, so daß sich ergibt $b = \frac{Z}{t} = 1''$.

Bei der Ablesung beachte man insbesonders den folgenden Umstand. Jedesmal, wenn der Doppelfaden über einer Zahnspitze oder einem Zahntal des Zählrechens steht, ergibt sich auf der Trommelteilung ungefähr die Ablesung Null. Ist die Spitze oder das Tal vom Fadenpaar bereits ein wenig überschritten, so zeigt die Trommelablesung wenig Teile, wurde aber die Spitze oder das Tal noch nicht völlig erreicht, dann ist dies durch eine Ablesung von vielen (etwa zwischen 50—60) Teilen erkennbar. Durch diese Überlegung ist, auch bei den folgenden u. U. kritisch erscheinenden Fadenlagen, die Minutenanzahl der Feinablesung nicht mehr zweifelhaft, sondern völlig klargestellt, nämlich

Faden nahe Zahnspitze, wenig Trommelteile; daher hat der Faden bereits die Spitze überschritten. Ablesung: gerade Minutenzahl, wenig Sekunden.

Faden nahe Zahnspitze, viel Trommelteile; daher hat der Faden die Spitze noch nicht erreicht. Ablesung: ungerade Minuten, viel Sekunden.

Faden nahe Zahntal, wenig Trommelteile; daher hat der Faden bereits das Tal überschritten. Ablesung: ungerade Minuten, wenig Sekunden.

Faden nahe Zahntal, viel Trommelteile; daher hat der Faden das Tal noch nicht erreicht. Ablesung: gerade Minuten, viel Sekunden.

Die Anschreibung der Ablesung und ihre Zentrierung durch Mittelbildung folgt dem Vorgang von [18,241]; hier dient als Beispiel die Abb. 85 a für die Ablesung des linken Mikroskops, nämlich:

Grobe Lesung: $5^0\,50'$.
Feine Lesung: $1\,z = 2'$, und an der Trommel: $42{,}6''$,
Gesamtlesung: $l = 5^0\,50' + 2'\,42{,}6'' = \quad 5^0\,52'\,42{,}6''$
und z. B.
Gesamtlesung: $r = \qquad = 185^0\,52'\,45{,}4''$
Zentriertes Mittel: $L = \quad 5^0\,52'\,44{,}0''$.

B. Doppelsekunden-Mikroskop

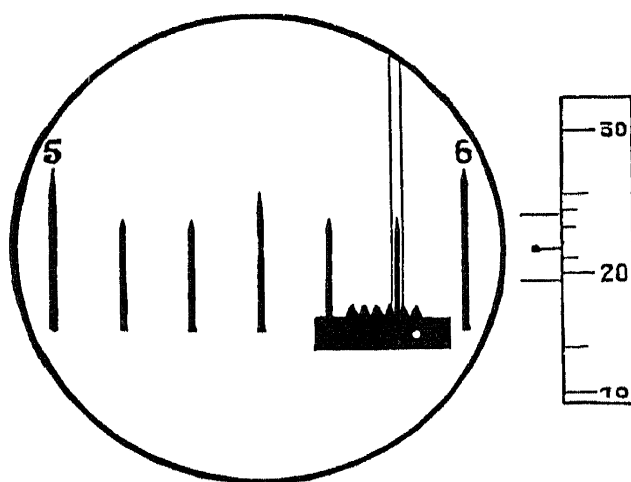



Abb. 85 b. *(Neuhöfer.)*

1. $a = 10'$, 2. $n = 5$, $(z = 2')$; 3. $t = 60$ Teile b (eine Nullstelle auf der Trommelteilung), 4. Eine Umdrehung erzeugt die Fadenverschiebung $Z = z = 2'$, so daß man erhält $b = \frac{Z}{t} = 2''$.

Wenn die Ablesungen ergeben haben (siehe Abb. 85 b)

links vom Beobachter: $l = 5^0\,50' + 1$ Zahn, 21,3 Teile und etwa
rechts vom Beobachter: $r = 185^0\,50' + 1$ Zahn, 22,7 Teile,

dann berechnet man, unter sinngemäßer Anwendung der Überlegungen von [18,241 B.] (die dort für Skalenteile $s = 2'$, hier aber für Zähne $z = 2'$ bzw. Trommelteile $b = 2''$ gelten), das zentrierte Mittel praktisch durch Addition der beiden Feinablesungen, nämlich

$$L = 5^0\,50' + 2'\,44{,}0'' = 5^0\,52'\,44{,}0''.$$

C. Viersekunden-Mikroskop

1. $a = 20'$, 2. $n = 5$, $(z = 4')$, 3. $t = 60$ Teile b (eine Nullstelle auf der Trommelteilung), 4. eine Umdrehung erzeugt die Fadenverschiebung $Z = z = 4'$, so daß sich ergibt $b = \frac{Z}{t} = 4''$.

Es wäre demnach bei jeder Feinablesung die Anzahl der Zähne mit 4′, die Anzahl der Trommelteile mit 4″ zu multiplizieren, um die Ablesung in ′ und ″ zu erhalten. Man erkennt, daß diese Multiplikation mit dem Faktor 4 unnötig ist, wenn das zentrierte Mittel als Summe von 4 Einzelablesungen gebildet wird, denn die Summe aller 4 Zahnzahlen entspricht den Bogenminuten und die Summe aller 4 Trommelablesungen den Bogensekunden des Mittelwertes.

Dieser Überlegung zufolge liest man jedes der beiden Mikroskope zweimal unabhängig ab, nämlich

links vom Beobachter z. B.: $l = 5^0\,50' + 0$ Zahn, 41,7 Teile,
$+ 0$ Zahn, 39,6 Teile,
rechts vom Beobachter z. B.: $r = 185^0\,50' + 0$ Zahn, 42,0 Teile,
$+ 0$ Zahn, 40,7 Teile,

und da die Summe der Feinablesungen: 0 Zahn 164,0 Teile den ′ bzw. ″, also $0'\,164{,}0'' = 2'\,44{,}0''$ entspricht, so erhalten wir tatsächlich sehr einfach das zentrierte Mittel

$$L = 5^0\,50' + 2'\,44{,}0'' = 5^0\,52'\,44{,}0''.$$

In ganz ähnlicher Art ist bei Zentesimalteilung zu verfahren. Wir beschränken uns hier aber auf ein einziges Beispiel, u. zw. für ein Vier-Zentesimalsekunden-Mikroskop, das etwa durch folgende Angaben in Zentesimalgraden gekennzeichnet ist.

1. $a = 0{,}20$, 2. $n = 5$, $(z = 0{,}04)$, 3. $t = 100$ Teile b (eine Nullstelle auf der Trommelteilung), 4. eine Umdrehung erzeugt die Fadenverschiebung $Z = z = 0{,}04$, so daß man erhält $b = \frac{Z}{t} = 0{,}0004$.

Ablesung und Mittelbildung wie beim vorhergehenden Beispiel.

Nach diesen grundsätzlichen Bemerkungen sind noch einige Einzelheiten zu erwähnen, die sich auf die Abstimmung der Mikroskope, Schraubenfehler und Meßgenauigkeit beziehen.

Die Prüfung der A b s t i m m u n g erfolgt durch die Ausmessung eines kleinsten Teilungsintervalls a und kann in der nachstehenden, nur kurz angedeuteten Art ausgeführt werden.

Erfassung des Nullzahnes mit dem Doppelfaden, Trommelablesung genau auf Null stellen. Einfassung des Teilstriches 0^0 mit dem Doppelfaden durch Feinbewegung der Alhidade. Drehung der Meßschraube bis der Doppelfaden den benachbarten Teilstrich einfaßt, Trommelablesung ergibt S_i' Teile. Mehr-(i-)malige Wiederholung dieses Vorganges und Mittelbildung aller Einzelwerte S_i'.

Zur möglichsten Tilgung der Schraubenfehler [19,8] wird die Messung desselben Teilungsintervalls nicht nur über dem Nullzahn, sondern nacheinander über sämtlichen Zahnspitzen begonnen, und in jeder solchen Beobachtungsgruppe werden auch die Ausgangsablesungen der Meßtrommel mit gleich abständigen Bruchteilen ihres Umfanges angenommen.

Mißt man mit derartigen Gruppen das Teilungsintervall an mehreren gleichmäßig über den Kreis verteilten Stellen, so ist das arithmetische Mittel S' aller Messungen in bestmöglichem Ausmaß vom Einfluß der Teilungsfehler befreit [19,8].

Ergibt sich $S' = a$, dann ist das Mikroskop abgestimmt. Im Gegenfall ist der Unterschied (Run) $R = S' - a$ durch Abstimmung [16,2] zu beseitigen bzw. auf einen erträglichen Wert zu verringern.

Je nach der geforderten Genauigkeit der Richtungs- oder Winkelmessungen kann z. B. bei Kleintriangulation $R < 4''$ u. U. vernachlässigt werden oder aber es sind die Feinablesungen bzw. ihr zentriertes Mittel rechnerisch (z. B. mit Hilfe von vorbereiteten Tabellen um den Betrag der entsprechenden Runkorrektion zu verbessern.

Um die beim angegebenen Verfahren notwendige zeitraubende Verschiebung des Doppelfadens über das ganze Teilungsintervall a zu vermeiden und die späteren Beobachtungen abzukürzen bzw. zu verfeinern, werden die Mikroskope von Theodoliten für Triangulierungsbeobachtungen höherer Ordnung mit einem Paar von Doppelfäden versehen. Ihr Abstand d ist meist um rund eine halbe Meßschraubendrehung kleiner als das Teilungsintervall a.

Hat z. B. die stets zuerst ausgeführte Einstellung des rechten Doppelfadens auf den in den Zählrechen einstehenden Teilstrich die Grobablesung $l_1 = 5^0\,50' + 1$ Zahn 21,3 Teile ergeben, wie in Abbildung 86 a angedeutet ist, so wird bei der darauffolgenden Einstellung des linken Doppelfadens auf den linken Nachbarstrich (Abbildung 86 b) nur die Trommel abgelesen. Erhält man dabei z. B. $l_2 = 50{,}5$ Teile, dann ist dies um die vorher bestimmte Fadenkonstante d (z. B. $d = 30{,}1$) des betreffenden Mikroskops zu vermehren. Das Ergebnis, nämlich $l_2 + d = 80{,}6$ Teile $= 1$ Zahn 20,6 Teile, dient mit der Feinablesung von l_1 zur Bestimmung des örtlichen, d. h. an der beobachteten Kreisstelle vorhandenen Runs.

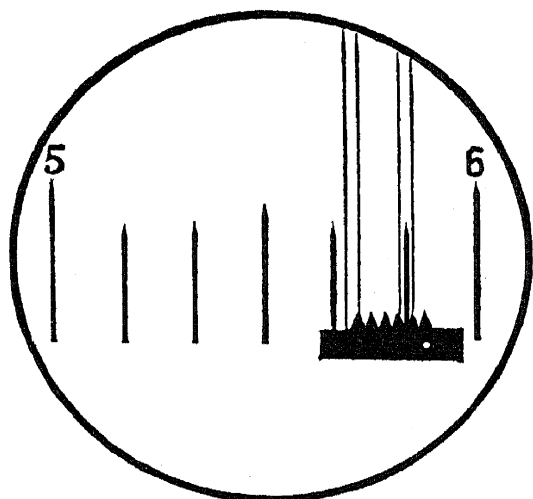



Abb. 86a. *(Neuhöfer.)*

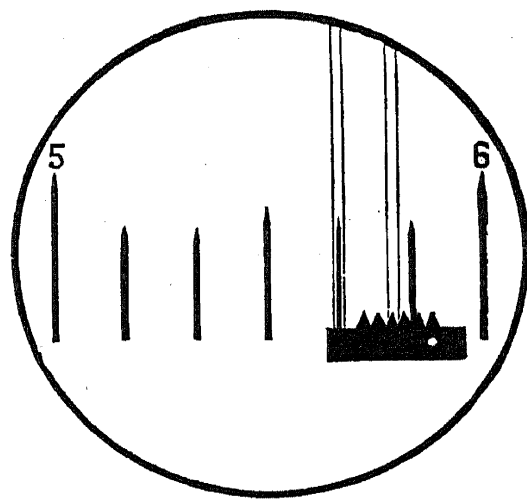



Abb. 86b. *(Neuhöfer.)*

Das österreichische Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, dessen Instrumente mit solchen Doppelfadenpaaren versehen sind, hat ausführliche Anweisungen für die Bestimmung des Runs und seine Berücksichtigung bei Triangulierungsbeobachtungen höherer Ordnung herausgegeben[3].

Da die Vorbringung weiterer Einzelheiten den gegebenen Rahmen überschritte, soll die Wirkung der Runkorrektion nur schematisch angedeutet werden.

Ist für das Intervall $a = n \cdot z$ der Run R festgestellt worden, dann ergibt sich für eine Feinablesung $f = k \cdot z$ die notwendige Runkorrektion

$$V = -R \cdot \frac{k}{n},$$

wobei die zur Feinablesung gehörigen Trommelintervalle, als Bruchteile von z, in k zu berücksichtigen sind.

Es ist selbstverständlich, daß der weiter vorne angedeutete Vorgang zur Bestimmung des Runs bei geringeren Genauigkeitsansprüchen entsprechend vereinfacht werden kann. Immer aber lassen sich aus solchen Messungen und den durch die verschiedenen Mittelbildungen entstehenden Differenzen, hinsichtlich der erwähnten Instrumentalfehler und auch der Größe des persönlichen Beobachtungsfehlers, wertvolle Schlüsse ziehen. Erst dann, wenn durch Übung und gesteigerte Erfahrung der anfänglich manchmal beträchtliche Fehler der Einstellung auf die Teilstriche entsprechend gesenkt wurde, ist es sinnvoll, die mögliche Genauigkeit der Trommelablesung durch Angabe von Zehntelteilen voll auszunützen.

Eine beim Theodolit III von *Zeiß* verwendete mikrometrische Kreisablesung, ohne Zählrechen oder Skala im Mikroskopgesichtsfeld, zeigt die Abb. 87.

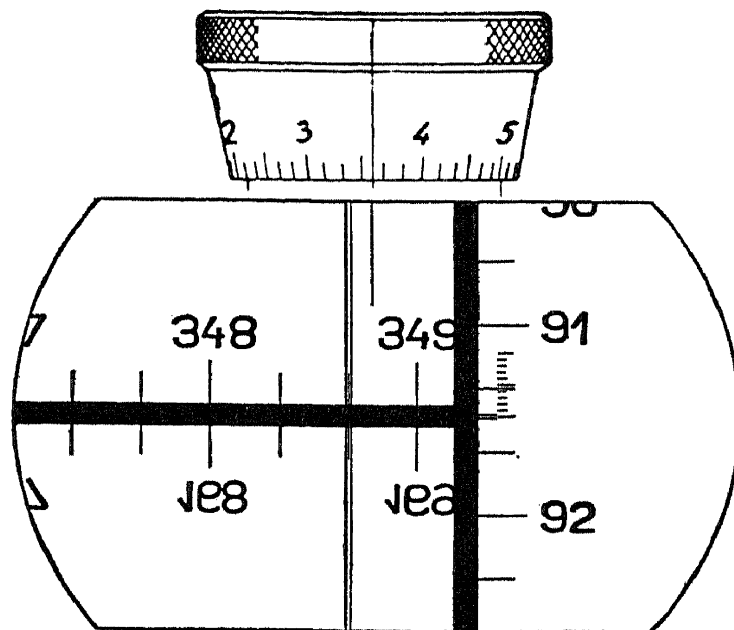



Abb. 87. *(Zeiß.)*

Durch aufeinanderfolgende Einstellung des einzigen Doppelfadens auf die optisch zusammengelegten Bilder der um 180° abstehenden Teilstriche ergibt sich die volle Feinablesung immer an der Teilung derselben Meßtrommel. Da eine ganze Umdrehung den Doppelfaden um ein Teilungsintervall $a = 20'$ weiterbewegt, entspricht einem der vorhandenen $t = 60$ Trommelteile der Winkelbetrag $b = 20''$ mit einer Schätzmöglichkeit von $\frac{b}{10} = 2''$. Die Bezifferung der Meßtrommel gibt Doppelminuten an.

Man kann daher, ähnlich wie bei [18,241] A. ablesen, nämlich:

$$l = 348^0\,40' + (3)\cdot 2' + (3{,}4)\cdot 20'' = 348^0\,40' + 6' + 68'' = 348^0\,47'\,08'',$$
$$r = 168^0\,40' + (3)\cdot 2' + (3{,}5)\cdot 20'' = 168^0\,40' + 6' + 70'' = 168^0\,47'\,10'',$$

mit dem zentrierten Mittel $L = 348^0\,47'\,09''$.

Wesentlich rascher und auch eleganter findet man das Ergebnis nach dem Vorgang von [18,241] B., nämlich durch Summierung der Feinablesungen:

$$\left.\begin{aligned} l &= 348^0\ 23{,}34 \text{ bezifferte Teile,} \\ r &= 168^0\ 23{,}35 \text{ bezifferte Teile,} \end{aligned}\right\} \text{ Summe der Feinlesungen: } 46{,}69 = 46'\,69'',$$

zentriertes Mittel $L = 348^0\,47'\,09''$.

18,25 Optische Mikrometer

Diese Hilfseinrichtungen dienen zur Messung von kleinen Winkeländerungen mit Hilfe von dreh- oder verschiebbaren Linsen (L i n s e n m i k r o m e t e r) oder von dreh- und schwenkbaren Glaskeilen (K e i l m i k r o m e t e r) bzw. zur Bestimmung von Strichabständen durch drehbare planparallele Platten (P l a n p l a t t e n-m i k r o m e t e r). Insbesonders die schon frühzeitig bekannten Keil-

mikrometer (*Boscovich* 1777) und Plattenmikrometer (*Clausen* 1841, *Porro* 1845)[4] sind von *H. Wild* bei der Entwicklung moderner geodätischer Instrumente mit beträchtlichem Erfolg wieder eingeführt und verwendet worden.

18,251 Keilmikrometer

Liegen die Hauptschnitte von zwei gleichen Glaskeilen 1, 2 waagrecht und so getrennt wie aus Abb. 88 a erkennbar, dann bewirken sie eine Parallelverschiebung v des senkrecht auftreffenden Strahles a, die sich bei wachsendem Keilabstand vergrößert. Werden die inneren Keilflächen aneinandergerückt, dann verhält sich der Doppelkeil durchaus wie eine planparallele Platte [16,3].

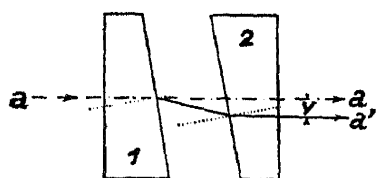
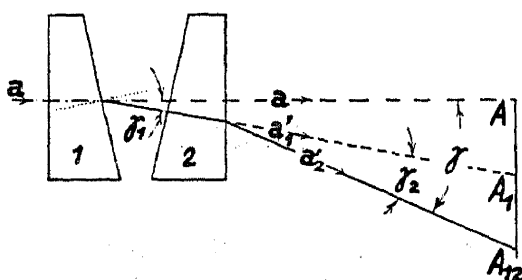
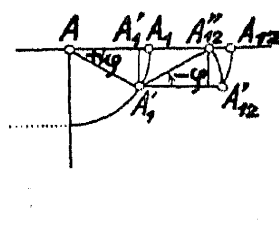



Abb. 88a. Abb. 88b. Abb. 88c.

(In Abb. 88c ist zwischen A und A_1 statt A_1' die Bezeichnung A_1'' zu setzen.)

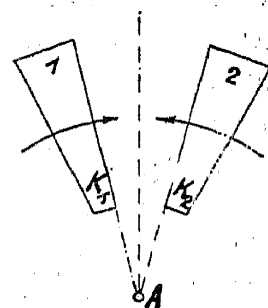
Durch 180°-Drehung des Keiles 2 um die Achse a gegen den Keil 1 entsteht die in Abb. 88b angegebene Lage, und es addieren sich die Einzelablenkungen γ_1, γ_2 [16,4] der beiden Keile zur Maximalablenkung γ. Verschwenkt man nun die Hauptschnitte gegensinnig um den gleichen Winkel φ, dann wird die Maximalablenkung γ in ihrer Ebene auf den Betrag $\gamma' = \gamma \cos \varphi$ reduziert. Wir bezeichnen ein solches System als Drehkeilmikrometer[5] und entnehmen die Einzelheiten seiner Wirkungsweise aus Abb. 88 b und Abb. 88 c.

Der eben erwähnte, durch beide Keile maximal um γ abgelenkte Strahl a_2' trifft eine entfernte Ebene im Punkt A_{12}. Nimmt man den Keil 2 fort, dann durchstößt der nur vom Keil 1 unter γ_1 abgelenkte Strahl a_1' die Ebene im Punkt A_1. Bei rechtsläufiger Drehung $+\varphi$ des Hauptschnittes 1 um die Achse a beschreibt a_1' einen Kegelmantel, und auf seinem Schnittkreis mit der Projektionsebene gelangt der Punkt A_1 nach A_1'. Setzen wir nun den Keil 2 mit waagrechtem Hauptschnitt vor den verdrehten Keil 1, dann wird der Punkt A_1' nach A_{12}' verschoben, wobei wegen des Zusammenhanges zwischen der Ablenkung γ_2 und der zugehörigen Strecke $\overline{A_1 A_{12}}$ der Abstand von A_1' bis A_{12}' gleich ist dem Abstand von A_1 bis A_{12}. Durch Linksdrehung $-\varphi$ des Hauptschnittes 2 gelangt A_{12}' am Schnittkreis des von a_2' beschriebenen Kegelmantels nach A_{12}''. Wir schließen, daß bei gleichzeitiger und gleichmäßiger Verdrehung beider Keile der Punkt A_{12} ohne Höhenänderung sich nach A_{12}'' verschiebt. Werden zwei Keile mit gleicher Ablenkung $\gamma_1 = \gamma_2$ verwendet, dann ist $\overline{AA_1} = \overline{A_1 A_{12}}$, somit auch

$\overline{AA_1''} = \overline{A_1''A_{12}''} = \overline{AA_1} \cos \varphi$ und $\overline{AA_{12}''} = \overline{AA_{12}} \cos \varphi$. Bezeichnet man den zu $\overline{AA_{12}''}$ gehörigen Ablenkungswinkel mit γ', so ergibt sich die vorne genannte Beziehung

$$\gamma' = \gamma \cos \varphi.$$

Abb. 89.

Wir erwähnen schließlich noch das Schwingkeilmikrometer[6] (Abb. 89), bei dem die Änderung der Gesamtablenkung durch gleichzeitige und gegensinnige Drehung der Keilhauptschnitte, in ihrer gemeinsamen Ebene, um eine zu den brechenden Kanten der Keile K_1 und K_2 parallele Achse A erzeugt wird[6a].

18,252 Plattenmikrometer

Sie werden im modernen geodätischen Instrumentenbau als Koinzidenzmikrometer verwendet, zur Bestimmung der Feinablesung durch Verschiebung der Ablesemarke bis zur Koinzidenz mit dem Teilstrich der Groblesung oder überhaupt zur Feststellung des Lageunterschiedes von zwei gleichartigen übereinanderliegenden Teilungen, u. zw. durch Verschiebung entweder von nur einer der beiden Teilungen mit nur einer vorgeschalteten Planplatte [16,3] oder gleichzeitiger Verschiebung beider Teilungen durch gegensinnige Drehung von zwei gleichen Planplatten (Doppelmikrometer)[7].

Das einfache Planplattenmikrometer findet z. B. Anwendung beim neuen Präzisionsdistanzmesser *Wild* DM 1 [25,244], beim Reduktionstachymeter *Boßhardt-Zeiß* [25,245] und bei den Präzisionsnivellierinstrumenten von *Wild* bzw. *Zeiß* [26,5], das Doppelmikrometer beim älteren Präzisionsdistanzmesser *Wild* [25,244] und insbesonders zur Kreisablesung bei den Theodoliten von *Kern*, *Wild* bzw. *Zeiß*[7a].

Hier werden die beiden gegenüberliegenden Stellen der Glaskreise durch einen vielfach gebrochenen Strahlengang untereinander abgebildet und dem Auge in einem neben dem Fernrohr liegenden Mikroskop dargeboten, wie es bereits in Abb. 72 zu erkennen war. Die erwähnte gegensinnige Verschwenkung eines in den Strahlengang eingebauten Doppelmikrometers erzeugt die Gegeneinanderbewegung der beiden, durch eine feine Linie getrennten Teilungsbilder (siehe auch [25,24]), und im Augenblick der Übereinstimmung ihrer Striche gibt das Mikrometer den halben Betrag des ursprünglichen Strichabstandes an[8].

Zur richtigen Durchführung von Ablesungen dieser Art sind verschiedene Regeln aufgestellt worden, von denen wir die nachfolgend erläuterte benützen.

Nach Herstellung der Koinzidenz beider Teilungen suchen wir einen beliebigen Strich der aufrecht bezifferten Teilung und lesen seinen Wert ab (z. B. 357° 00′) und hernach den Wert des mit ihm koinzidierenden Striches der anderen Teilung (z. B. 179° 40′). Das arithmetische Mittel der Einergrade und Minuten ist stets der richtige Wert der Grobablesung, die man immer auf die aufrechtbezifferte Teilung bezieht.

Aus den zum Beispiel gewählten Ablesungen erhalten wir mit 7° 00′ bzw. 9° 40′ das Mittel 8° 20′, somit bei Festhaltung der aufrechtbezifferten Teilung die Grobablesung 358° 20′.

Zur Grobablesung ist immer jene Feinablesung zu addieren, die sich auf der Mikrometertrommel unter dem Indexstrich ergibt.

Nimmt man nicht einen beliebigen Strich, sondern einen solchen, der sich möglichst nahe einer Ablesemarke oder dem verlängerten Indexstrich in der Gesichtsfeldmitte befindet, so fällt praktisch jede Rechnung fort, da die Grobablesung mit einem Blick feststellbar ist.

Wir verzichten auf eine eingehendere Darstellung des Vorganges der Abbildung bzw. der Anordnung ihrer optischen Mittel und halten fest, daß wir stets durch Drehung des optischen Mikrometers die Übereinstimmung der Teilung in bester Weise bewirken und schließlich die Ablesung nach den vorerwähnten Regeln herstellen, die durch die folgenden Abbildungen erläutert sind.

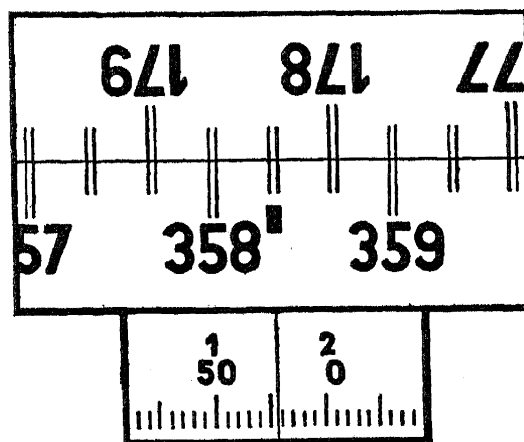



Abb. 90 a. *(Zeiß.)*

Abb. 90 a: 360°-Teilung des Theodolites II von *Zeiß* (siehe Abb. 72).

Zur Aktivierung des erhöhten Breitenauflösungsvermögens des menschlichen Auges bei vermehrter Strichzahl einer Teilung[9], weist die Horizontalkreisteilung dieses Instrumentes Doppelstriche auf. Die Gesichtsfeldmitte ist durch eine Ablesemarke bezeichnet, die sich in der Abbildung unter dem Doppelstrich mit dem Wert 358° 20′ befindet. Da der koinzidierende Strich der darüberliegenden Teilung den Wert 178° 20′ besitzt, ist im Sinne der obigen Bemerkungen die Grobablesung tatsächlich auf einen Blick mit 358° 20′ festgestellt. Durch Hinzu-

fügung der vom Indexstrich bestimmten Feinlesung, nämlich 1′ 55,7″, erhält man die Gesamtablesung des „optisch zentrierten“ Mittels $L = 358^0\,21'\,55{,}7''$.

Nebenbei sei darauf hingewiesen, daß die äußersten linken Striche jene Ablesungen 357° 00′ und 179° 40′ ergeben, die bei der vorausgehenden allgemeinen Erläuterung als Beispiel für die Ablesung von „beliebigen“ Strichen dienten.

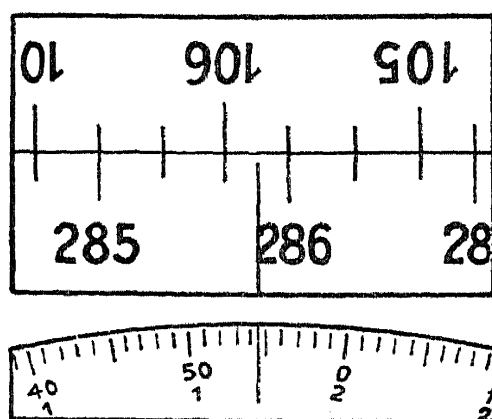



Abb. 90 b. *(Wild.)*

Abb. 90 b: 360°-Teilung eines Theodolites T 2 (früher Universaltheodolit) von *Wild*[9a].

Der als Verlängerung des Indexstriches in das Gesichtsfeld reichende und als Ablesemarke dienende Strich weist zwischen die Striche 285° 40′ bzw. 286° 00′ der hier einfach ausgeführten Teilung und deutet daher ungefähr auf die Kreisstelle 285° 50′. Wenden wir die oben angeführte Regel an und lesen den Strich 285° 40′ in Koinzidenz mit 106° 00′ ab, so ergibt sich aus den Werten 5° 40′ und 6° 00′ das arithmetische Mittel 5° 50′ und die Grobablesung 285° 50′, auf die der Indexstrich hindeutet. Auch aus jeder anderen „beliebigen“ Strichkoinzidenz findet man den gleichen Wert, wie z. B. ganz links 107° 00′ mit 284° 40′, also aus 7° 00′ und 4° 40′ das Mittel 5° 50′ zur Groblesung 285° 50′. Gesamtablesung: 285° 51′ 54,5″.

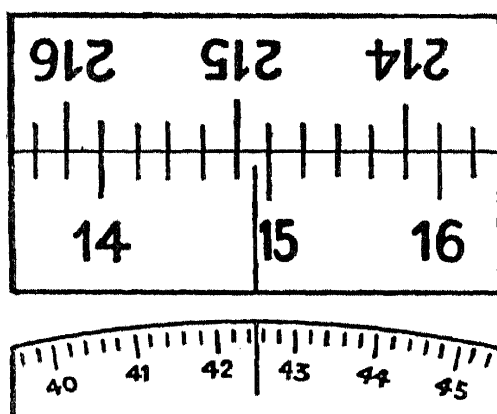



Abb. 90 c. *(Wild.)*

Abb. 90 c: 400g-Teilung eines Theodolites T 2 von *Wild*.

Vom Indexstrich angedeutete Grobablesung: 14,9. Überprüfung durch Koinzidenz der Striche 14,8 und 215,0, d. h. 4,8 und 5,0. Das Mittel daraus, nämlich 4,9, bestimmt die Richtigkeit der Grobablesung 14,9. Feinablesung an der Mikrometertrommel mit der Teilungseinheit $b = 2^{cc}$ gibt 425^{cc} und damit die Gesamtablesung: $L = 14{,}9425$. (Alle Angaben in Zentesimalgraden.)

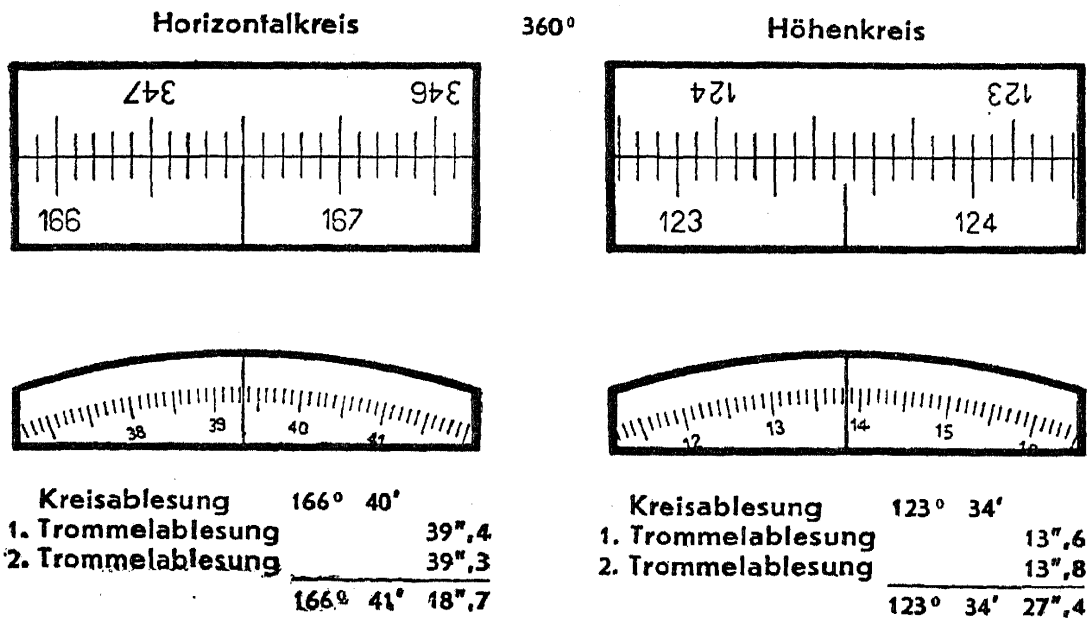



Abb. 90 d. *(Wild.)*

Abb. 90 d: 360°-Teilung des Präzisionstheodolites T3 von *Wild* (siehe auch Abb. 103).

Kreisteilungseinheit $a = \frac{1^0}{15} = 4'$. Mikrometertrommel weist auf: 600 kleinste Teile $b = 0{,}2''$ und eine Bezifferung nach Doppelsekunden. Um die Multiplikation mit 2 bei den abgelesenen Trommelteilen b zu ersparen, stellt man zweimal die Koinzidenz ein, addiert die Trommelteile und fügt die Summe als Bogensekunden zur Grobablesung.

Horizontalkreis: Vom Indexstrich angedeutete Groblesung $166^0\,40'$ ist richtig, weil z. B. $166^0\,40'$ mit $346^0\,40'$ koinzidiert. Erhält man bei den beiden Koinzidenzeinstellungen zuerst 39,4, darauf 39,3 Teile (die in der Abbildung vorhandene geringe Überschreitung des Striches 39,3 wird vernachlässigt und abgerundet), so gibt die Summe dieser Teile $78{,}7'' = 1'\,18{,}7''$, und nach Addition zur Grobablesung entsteht die Gesamtablesung $L = 166^0\,41'\,18{,}7''$.

Höhenkreis: Vom Indexstrich angedeutete Grobablesung $123^0\,34'$ ist richtig, denn wir lesen ab, daß koinzidieren $123^0 + 8$. Strich $(32')$ mit $123^0 + 9$. Strich $(36')$, also $123^0\,32'$ mit $123^0\,36'$, woraus sich das Mittel $123^0\,34'$ ergibt. Aus der 1. Feinablesung: $13{,}6''$ und der 2. Feinablesung: $13{,}8''$ entsteht die Summe $27{,}4''$, so daß wir durch Zufügung zur Grobablesung den Wert $L = 123^0\,34'\,27{,}4''$ erhalten.

Abb. 90 e: 400^g-Teilung des Präzisionstheodolites T3 von *Wild*.

Da die Mikrometertrommel hier 500 kleinste Teile $b = 1^{cc}$ aufweist, wird wie gewöhnlich einmal die Koinzidenz eingestellt und die Feinlesung zur Groblesung zugefügt.

Horizontalkreis: Vom Indexstrich angedeutete Grobablesung 114,45 ist richtig, weil die Werte koinzidierender Striche, z. B. 114,4 mit 314,5, d. h. 4,4 mit 4,5, das Mittel 4,45 ergeben. Die Feinablesung 210,3cc ist zur Groblesung zu addieren und führt damit zur Gesamtablesung $L = 114{,}471\,03$.

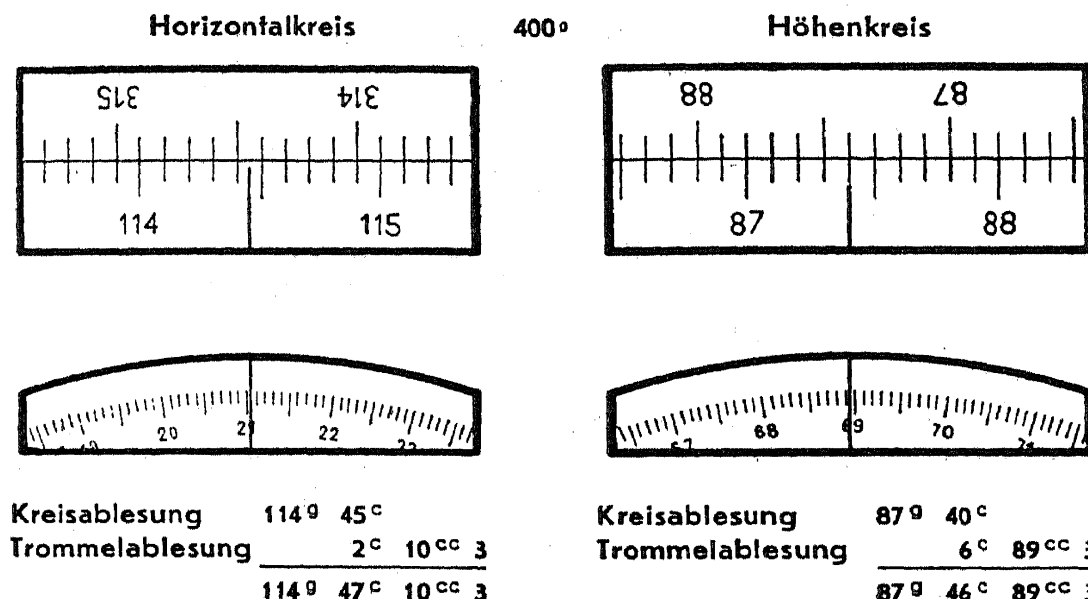



Abb. 90e. *(Wild.)*

Höhenkreis: Vom Indexstrich angedeutete Groblesung 87,4 ist richtig, denn die koinzidierenden Striche 87,4 bzw. 87,4 (obere verkehrt bezifferte Teilung) geben dieses gleiche Mittel. Die Feinlesung 689,3cc führt daher zur Gesamtablesung $L = 87{,}468\,93$. (Alle Angaben in Zentesimalgraden.)

Während sich bei den modernen Instrumenttypen immer nur eine einzige Möglichkeit für die Herstellung der Teilungskoinzidenz durch Drehung der Mikrometertrommel ergibt, waren bei älteren Ausführungsformen, am Anfang ihrer Entwicklung, auch zwei Einstellungen möglich. Stets aber ist jeder Zweifel über die Richtigkeit der Grobablesung zur Gänze ausgeschaltet, wenn man nur nach der oben angeführten Regel vorgeht und keine wie immer gearteten Sonderüberlegungen anstellt.

Sobald man bei Herstellung der Koinzidenz an den Anschlag der Mikrometertrommel gerät, d. h. Ablesungen nahe an 0″ erhält, wird es sich ergeben, daß eine u. U. wiederholte Einstellung an das andere Ende der Mikrometertrommel führt. Dies ist lediglich eine Folge des bei der Messung unterlaufenden zufälligen Einstellungsfehlers einer Koinzidenz, und eine mehrmalige Wiederholung wird sehr bald zur Klärung führen, welcher Ablesung man den Vorzug gibt, wenn man einmal erhält z. B. 45° 50′ 01″ oder aber 45° 49′ 59″.

Eine völlig neue Art der Kreisablesung kommt bei den Doppelkreistheodoliten „Construction Dr. *H. Wild*“ zur Anwendung,

die von der *Kern & Co. A.G.* in Aarau (Schweiz) in zwei verschiedenen Genauigkeitsstufen erzeugt werden, nämlich als DK-Instrumente ohne optisches Mikrometer bzw. als DKM-Instrumente mit optischem Mikrometer.

Bei allen Formen sind auf beiden Kreisen zwei Teilungen vorhanden, die durch ein Mikroskop mit gemeinsamem Okular sichtbar gemacht werden.

In der Stufe der DK-Instrumente dienen die unbezifferten Striche der sog. Grobteilung (Intervall je nach Instrument 1 Grad oder 20 Bogenminuten) zur Ablesung in der bezifferten Feinteilung, die je nach der Instrumenttype Intervalle von 20 oder 2 Bogenminuten aufweist und dann durch Schätzung eine Ablesegenauigkeit von 0,5′ oder 0,1′ bzw. 1^c oder 0,5^c ergibt.

Diese Art der Kreisablesung ist auch bei den Tachymetertheodoliten (DK 2) und Reduktionstachymetertheodoliten (DKR) [25,23] von Kern vorgesehen.

Die Reihen der Triangulationstheodolite DKM 1 bzw. DKM 2 geben nach dem gleichen Grundsatz der Doppelkreisteilung, mit einer neuartigen sog. Mittelfeldeinstellung, durch ein optisches Mikrometer einzelne Bogensekunden, u. zw. einerseits durch Schätzung in einem Zehnsekundenintervall bzw. andererseits durch direkte Ablesung mit möglicher Schätzung von Zehntelsekunden.

Über ein optisches System werden die in einem Durchmesser liegenden Striche der unbezifferten Grobteilung bzw. der bezifferten Feinteilung der gegenüberliegenden Kreisstelle knapp nebeneinanderliegend abgebildet, so daß sie als Doppelstriche im Mikroskopgesichtsfeld erscheinen. Stellt man diese Doppelstriche mit dem optischen Mikrometer symmetrisch zu dem festen Indexstrich ein, so zeigt dieser die ganzen Grade und Zehnminutenintervalle an, während die Feinlesung in Minuten und Sekunden an der Mikrometerteilung abzulesen ist.

Die Abb. 90 f zeigt Kreisablesungsbeispiele in $^1/_1$ scheinbarer

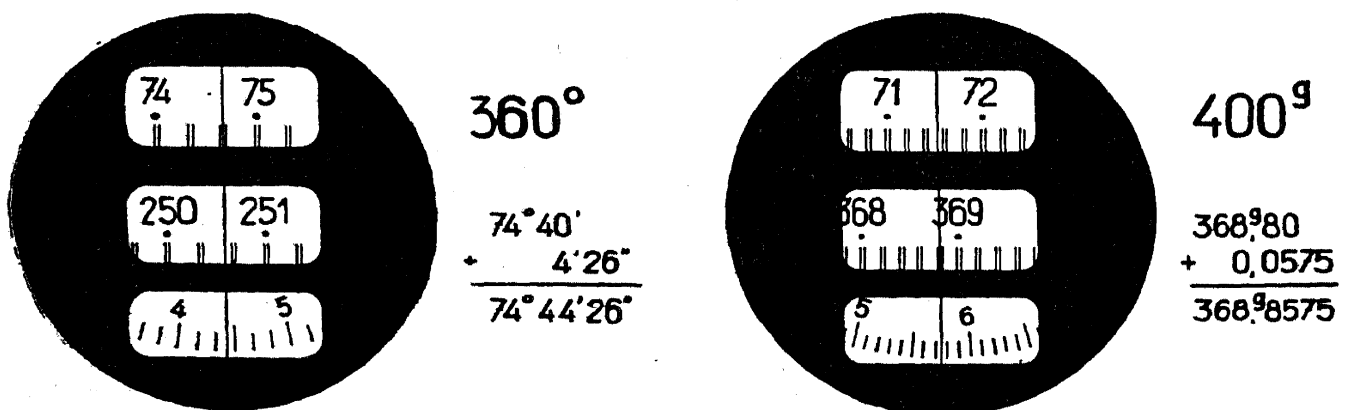



Abb. 90f. *(Kern.)*

Größe für den Triangulationstheodolit DKM 1 von *Kern & Co. A. G.*, dessen besondere Konstruktionsmerkmale wir in [20] ausführlicher besprechen.

Die auf dem Gebiet des geodätischen Instrumentenbaues von *H. Wild* begründete geniale Umwälzung hat auch außerhalb des europäischen Festlandes nicht nur die Übernahme der *Wild*schen Leitgedanken durch die nationalen feinmechanischen Industrien bewirkt, sondern unmittelbar zur Erfindung interessanter Einzelheiten angeregt.

In dieser Hinsicht sei hier auf den von *Cooke Troughton & Simms*, Ltd., York (England) erzeugten Tavistock Theodolit verwiesen, bei dem sich das optisch zentrierte Mittel der Kreisablesungen über zwei getrennte Mikroskope ergibt, die von den Fernrohrträgern aus gegen den Beobachter gebrochen sind.

Neuartig ist, daß das optische Mikrometer keine Planplatten benützt, sondern aus einem Prisma besteht, das sich mit seinem Rahmen durch Zahntrieb in radialer Richtung verschiebt. Die vom optischen System knapp zusammengelegten Bilder diametraler Striche werden von den Dachflächen des Prismas reflektiert und durch dessen Verschiebung bewegt.

Im Gesichtsfeld jedes Mikroskops erblickt man drei Öffnungen, von denen die oberste das Bild einer Kreisstelle zeigt und mit einem Index die grobe Ablesung angibt. Durch die nächste Öffnung bewegen sich bei der Drehung des Mikrometers die erwähnten parallel knapp beisammenliegenden Striche als Doppelstrich. In der dritten, untersten Öffnung erscheint die mit der Verschiebung des Prismenrahmens gekoppelte Mikrometerteilung mit Sekundenintervallen und bezifferten Minuten. Stellt man in der zweiten Öffnung den Doppelstrich auf den festen Indexstrich symmetrisch ein, so gibt der Index in der untersten Öffnung die Feinablesung an.

19 Achsen- und Instrumentalfehler des Theodolites

Die einwandfreie Festlegung von Richtungen im Horizont und ihre Neigungsbestimmung mit dem Theodolit ist ohne Anwendung besonderer Beobachtungsverfahren nur dann möglich, wenn seine in [18] erwähnten Achsen (Abb. 91) die folgenden Forderungen erfüllen[10].

A. Alhidadenachse *S*

a) mit der Limbusachse zusammenfallend,
b) durch den Mittelpunkt des zu ihr normalen Limbuskreises gehend.
c) während der Beobachtung lotrecht.

B. Kippachse K

a) die Alhidadenachse schneidend,
b) normal zur Alhidaden- (Steh-) Achse,
c) daher während der Beobachtung waagrecht.

Abb. 91.

C. Zielachse Z

a) die Alhidadenachse schneidend,
b) normal zur Kippachse,
c) daher während der Beobachtung lotrechte Zielebenen beschreibend.

Bereits bei der Instrumentenherstellung können die Forderungen a), b) aus erzeugungstechnischen Gründen nicht völlig befriedigt werden, wodurch sog. innere Instrumentalfehler der folgenden Art entstehen.

Zu A. a): Nichtübereinstimmung von Limbus- und Alhidadenachse,
zu A. b): Exzentrizität der Alhidade,
zu B. a) und C. a): Exzentrizität der Zielebene,
zu B. b): Instrumentaler Kippachsenfehler,
zu C. b): Instrumentaler Zielachsenfehler.

Das Streben der Präzisions- oder Feinmechanik ist darauf gerichtet, diese inneren Instrumentalfehler möglichst klein zu halten, d. h. so klein, daß sie bei einfachen Instrumenten (mit minder genauen Ableseeinrichtungen) dann nicht merkbar werden, wenn die Forderung A. c) bei der Beobachtung hinreichend genau durch Lotrechtstellung der Alhidadenachse erfüllt wird.

Da diese Lotrechtstellung der Stehachse S (Abb. 91) mit den hiezu vorgesehenen Alhidadenlibellen auch nur etwa innerhalb deren Angabe τ (Empfindlichkeit) [18,1] gelingt, entsteht die fehlerhafte Achslage S', und es verbleibt ein Restfehler (von der Größenordnung $\leqq \tau$), den wir als Stehachsenfehler v bezeichnen.

Schon wegen des instrumentalen Kippachsen- und Zielachsenfehlers werden dann im allgemeinen die Forderungen B. c) und C. b) bzw. C. c) nicht erfüllt, d. h. die fehlerhafte Kippachse K' wird gegen den Horizont unter dem Kippachsenfehler i geneigt sein und die fehlerhafte Zielachse Z' wird von der geforderten Lage Z (normal zur Kippachse K) um den Betrag des Zielachsenfehlers c abweichen.

Wir müssen daher immer mit dem Vorhandensein dieser drei Achsenfehler rechnen, die in Zusammenwirkung mit den drei erstgenannten inneren Instrumentalfehlern den Anlaß zur Entstehung von regelmäßigen Beobachtungsfehlern [II, Abschnitt B] geben. Sie werden bei besseren Theodoliten mit genauen Ableseeinrichtungen aus den während der Beobachtungen sich ergebenden regelmäßigen Ablesungsunterschieden erkennbar werden.

Stellt man bei der Überprüfung des Instrumentes allzu große Instrumentalfehler fest, so sind sie durch Berichtigung auf ein erträgliches Maß zu bringen. Die restlichen regelmäßig wirkenden Fehlereinflüsse werden dann entweder rechnerisch berücksichtigt oder aber durch geeignete Meßverfahren bestmöglich ausgeschaltet.

Nach diesen allgemeinen Hinweisen wollen wir den Einfluß E_f der erwähnten Fehler f feststellen, u. zw. unter der Annahme, diese selbst seien so klein, daß ihre Quadrate und Produkte vernachlässigbar sind. Trifft dies nämlich zu, dann folgt aus den Regeln der Reihenentwicklung einer Funktion von mehreren Veränderlichen, daß der Beitrag jeder einzelnen Veränderlichen, d. i. jedes Einzelfehlers, so untersucht werden darf, als ob die anderen Fehler nicht vorhanden wären.

Beschränkt man sich bei der Bestimmung der Fehlereinflüsse auf eine Genauigkeit von etwa $\triangle = 0{,}1''$, also auf die Größenordnung $\frac{\triangle}{\varrho} \doteq f^2 \doteq 0{,}48 \cdot 10^{-6}$, so ergibt sich $f \doteq 0{,}69 \cdot 10^{-3}$ oder im Winkelmaß $f'' = \varrho f \doteq 140''$. Da es bei der praktischen Verwendung des Theodolites immer möglich ist, die Achsen- und sonstigen Fehler unter diesem Betrag zu halten, dürfen wir deren Wirkung durch Einzelbetrachtungen ermitteln.

Von den sich hiezu darbietenden Verfahren werden in der Folge jene benützt, die auf kürzestem Weg zum Ziel führen.

19,1 Nichtübereinstimmung von Limbus- und Alhidadenachse

Dieser bei Theodoliten mit Repetitionseinrichtung (Abb. 70) nahezu stets vorhandene innere Instrumentalfehler muß als unvermeidlich hingenommen werden. Im Hinblick auf die heute wohl nur mehr seltene Ausführung von Winkelmessungen durch Repe-

t i t i o n [20,2] ist dieser Fehler indessen ziemlich bedeutungslos geworden. Die möglichste Ausschaltung seines Einflusses durch ein geeignetes Beobachtungsverfahren wird a. a. O. dargestellt.

19,2 Exzentrizität der Alhidadenachse

Ihre lineare Größe e überschreitet bei besseren Instrumenten kaum mehrere Mikron und ist durch den Abstand des Mittelpunktes M der Kreisteilung von dem Durchstoßpunkt S der Alhidadenachse mit der Kreisebene gegeben (Abb. 92). Die Verbindungslinie der Nullmarken beider Ableseeinrichtungen A_1, B_1 geht bei einem exzentrizitätsfreien Instrument durch M, wird durch Drehung der Alhidade um den Winkel α nach A_2, B_2 mitgenommen, so daß die Ablesungsunterschiede $A_2 - A_1$ bzw. $B_2 - B_1$ den Winkel α richtig angeben.

Denken wir uns aber diese Null-Linie parallel in den exzentrischen Punkt S verschoben und die entsprechenden Ablesungen A_1', B_1' bzw. A_2', B_2' ausgeführt, so erhalten wir mit der einen Ableseeinrichtung den Winkel $A_2' - A_1' = \alpha_A$, mit der zweiten hingegen den abweichenden Betrag $B_2' - B_1' = \alpha_B$. Beachtet man die Gleichheit der Abstände x bzw. y zwischen der tatsächlichen bzw. der Soll-Lage der Ableseeinrichtungen und den rechtsläufigen Sinn der Horizontalkreisteilung, so läßt sich aus Abb. 92 ablesen:

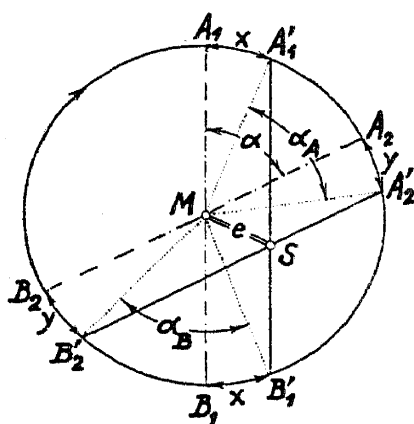



Abb. 92.

$$A_1' = A_1 + x, \qquad A_2' = A_2 + y$$
$$B_1' = B_1 - x, \qquad B_2' = B_2 - y$$
$$A_1' + B_1' = A_1 + B_1, \qquad A_2' + B_2' = A_2 + B_2$$
$$\frac{A_i' + B_i'}{2} = \frac{A_i + B_i}{2}.$$

Das arithmetische Mittel aus zwei Ablesungen A_i, B_i, die sich an gegenüberliegenden Ableseeinrichtungen ergeben, heißt z e n t r i e r t e A b l e s u n g. Sie ist befreit vom Einfluß der Exzentrizität der Alhidade. Praktisch wird stets die Grobablesung für die Ableseeinrichtung links vom Beobachter festgehalten und um das Mittel der beiden Feinablesungen vermehrt (Beispiele siehe bei [20]).

Wählt man das zentrierte Mittel als Kennzeichen für die zugehörige eingestellte Zielrichtung, nämlich $i = 2$ für das rechte Ziel R bzw. $i = 1$ für das linksliegende Ziel L, so ist $R—L = \alpha$ und daher auch $R'—L' = \alpha$, denn aus den obigen Gleichungen und Abb. 92 ergibt sich

$$A_2' - A_1' = A_2 - A_1 + y - x, \quad B_2' - B_1' = B_2 - B_1 - y + x,$$
$$\alpha_A = \alpha + (y - x), \qquad \alpha_B = \alpha - (y - x)$$
$$\frac{\alpha_A + \alpha_B}{2} = \alpha.$$

Der Einfluß ε der Exzentrizität e der Alhidade für die Ablesestelle A ergibt sich aus der Beziehung

$$\varepsilon = \frac{e}{r} \sin (A - A_0),$$

worin r den Radius der Kreisteilung und A_0 die Kreislesung für die Richtung MS der Exzentrizität darstellen.

Mit Beobachtungen, die gleichmäßig über den Kreis verteilt sind[11], kann e und auch ein sog. Knickungswinkel[12] der Null-Linie bestimmt werden, der vorhanden ist, wenn diese nicht durch S geht. Ein größerer störender Knickungswinkel ist durch seitliche Verschiebung einer der beiden Ableseeinrichtungen behebbar.

Bei einfachen Instrumenten, die u. U. nur eine einzige Ableseeinrichtung besitzen, ist die Ausschaltung des Einflusses ε der Alhidadenexzentrizität bei nur einer Richtungsbeobachtung nicht möglich. Beobachtet man indessen dieselbe Richtung nochmals, u. zw. nach Durchschlagung des Fernrohrs, so ist das Mittel dieser beiden Messungen frei vom Einfluß der Alhidadenexzentrizität.

Ist nämlich bei der ersten Messung an der Kreisstelle A der Einfluß ε_A gegeben durch den Ausdruck $\varepsilon_A = \frac{e}{r} \sin (A - A_0)$, so steht bei der zweiten Beobachtung mit durchgeschlagenem Fernrohr die Ableseeinrichtung an der Kreisstelle $B = A + 180^0$ und der hiezu gehörige Einfluß lautet

$$\varepsilon_B = \frac{e}{r} \sin \,(180^0 + A - A_0) = -\frac{e}{r} \sin (A - A_0) = -\varepsilon_A.$$

19,3 Exzentrizität der Zielebene

Wird die Stehachse S von der Zielachse nicht geschnitten, dann entstehen durch die Kippung des Fernrohres Zielebenen, die bei Drehung der Alhidade um die Stehachse einen Kreiszylinder einhüllen. Sein Radius gibt den Betrag der Exzentrizität u an.

Ist in FRL I die unmittige Zielebene nach dem Ziel L (Abb. 93) eingestellt, dann befindet sich nach dem Durchschlagen des Fern-

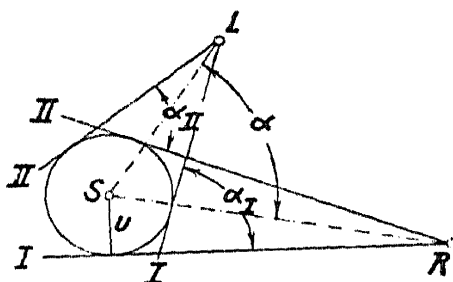



Abb. 93.

rohrs und neuerlicher Anzielung von L die Zielebene in der zur Richtung SL symmetrischen Lage II.

Bezeichnen L_I' bzw. L_{II}' die Richtungswerte für das Ziel L in FRL I bzw. FRL II, so ergibt sich die gesuchte Richtung L einer exzentrizitätsfreien Zielebene SL aus

$$L = \frac{L_I' + L_{II}'}{2}$$

Entsprechend erhält man für das rechtsliegende Ziel

$$R = \frac{R_I' + R_{II}'}{2}$$

und demnach für Winkelbeobachtung

$$\alpha_I = R_I' - L_I', \quad \alpha_{II} = R_{II}' - L_{II}', \quad \alpha = R - L = \frac{\alpha_I + \alpha_{II}}{2}$$

Der Einfluß einer Exzentrizität der Zielebene wird durch Beobachtung in beiden Fernrohrlagen und Mittelung der Ergebnisse beseitigt.

19,4 Stehachsenfehler[13]

Fällt die Alhidadenachse des Theodolites mit der physikalischen Lotrichtung S des Standpunktes zusammen, dann ist der Limbuskreis waagrecht und das Instrument zur Festlegung von Richtungen im Horizont meßgerecht aufgestellt. Zufolge der nur beschränkt genauen Libellenberichtigung und -ablesung wird die tatsächliche Stehachse S' (Abb. 91) gegen die Soll-Lage S unter einem kleinen Winkel v, dem Steh- oder Vertikalachsenfehler geneigt sein. Seine Größe und seine Richtung, d. h. die Lage der durch S und S' gegebenen lotrechten Ebene, ist praktisch während der Beobachtung unbekannt und könnte nur aus Komponenten in bestimmten Richtungen, durch Neigungsmessung mittels genauer Libellen, abgeleitet werden.

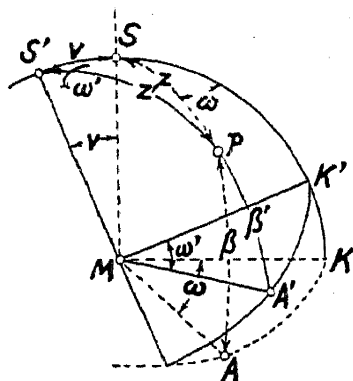



Abb. 94a.

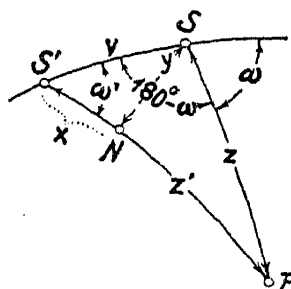



Abb. 94b.

Zur Bestimmung des Einflusses der fehlerhaften Stehachsenlage, auf das Ergebnis der Richtungs- und Winkelmessung, schneiden wir die Einheitskugel um den Mittelpunkt M (Abb. 94 a) des Limbuskreises, einerseits durch die Horizontalebene MKA des richtig liegenden Limbuskreises, durch die lotrechte Zielebene MSP nach dem unter einem Höhenwinkel β erscheinenden Punkt P, andererseits durch die tatsächlich vorhandene Ebene $MK'A'$ des Limbuskreises, die zur fehlerhaften Achse S' gehört und daher unter v gegen den Horizont geneigt ist, sowie durch die tatsächliche Zielebene $MS'P$ nach dem Punkt P.

Die Lotebene $SS'M$ enthält den Stehachsenfehler v und schneidet die beiden Limbusebenen an der Stelle des größten Klaffens, bei K' und K. Während sich bei richtiger Stehachse S die Kreislesung A ergäbe, erhält man tatsächlich A'.

Der Einfluß Es des Stehachsenfehlers v auf die Horizontalkreisablesung A ist daher durch den Unterschied (Widerspruch) $\widehat{A'K'} - \widehat{AK}$ dieser beiden Kreisbogen dargestellt, weil beim Übergang von S nach S' die Kreisstelle K unverändert nach K' gelangt.

Die den Bogen $\widehat{AK}$ bzw. $\widehat{A'K'}$ entsprechenden Winkel ω in S bzw. ω' in S' erscheinen in dem schmalen sphärischen Dreieck $SS'P$ mit den Seiten v, $(90 - \beta) = z$, $(90 - \beta') = z'$ (Abb. 94 b).

Hier stellen z bzw. z' die Zenitabstände oder Zenitdistanzen des Zielpunktes P vom richtigen Zenitpunkt S bzw. vom fehlerhaften Zenit S' dar.

Durch Anwendung des Sinussatzes erhalten wir

$$\sin\omega : \sin\omega' = \sin z' : \sin z \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

und wenn in der Identität $\omega = \omega' - (\omega' - \omega)$ der Betrag $\omega' - \omega$ als klein von der ersten Ordnung aufgefaßt wird, so führt dies zur Entwicklung $\sin\omega = \sin\omega' - (\omega' - \omega)\cos\omega'$.

Setzt man dies in die obige Beziehung (1), so ergibt sich

$$\sin\omega : \sin\omega' \doteq 1 - (\omega' - \omega)\,\mathrm{ct}\,\omega' \doteq \sin z' : \sin z \quad \ldots \ldots \quad (2)$$

Die Fällung der Senkrechten von S (Abb. 94 b) auf den Bogen $\widehat{S'P} = z'$ läßt die beiden Abschnitte $\widehat{SN} = y$ und $\widehat{S'N} = x$ entstehen, die gegenüber den praktisch auftretenden großen Zenitdistanzen sehr klein sind. Es ist daher erlaubt, $z' - x \doteq z$ zu setzen und daraus folgt weiter

$$\sin z' \doteq \sin(z + x) \doteq \sin z + x\cos z, \qquad \sin z' : \sin z \doteq 1 + x\,\mathrm{ct}\,z \quad \ldots \quad (3)$$

Durch Vergleich mit (2) findet man

$$1 - (\omega' - \omega)\,\mathrm{ct}\,\omega' \doteq 1 + x\,\mathrm{ct}\,z, \qquad \omega' - \omega \doteq -x\,\mathrm{tg}\,\omega'\,\mathrm{ct}\,z. \quad \ldots \quad (4)$$

Genähert darf in Abb. 94 b auch das sehr kleine sphärische Dreieck $S'SN$ wie ein ebenes behandelt werden, so daß sich mit $x \doteq v\cos\omega'$ aus (4) ergibt

$$\omega' - \omega = E_S \doteq -v\sin\omega'\,\mathrm{ct}\,z = -v\sin\omega'\,\mathrm{tg}\,\beta \quad \ldots \ldots \quad (5)$$

Wir ziehen hieraus die folgenden Schlüsse:

1. Für einen Winkel $\alpha = R - L$ erhält man den Einfluß des Stehachsenfehlers aus

$$E_{S_\alpha} = E_{S_R} - E_{S_L} = -v\,\{\sin\omega_R'\,\mathrm{tg}\,\beta_R - \sin(\omega_R' - \alpha)\,\mathrm{tg}\,\beta_L\} \;. \quad (6)$$

Bei der Messung von gestreckten Winkeln $\alpha = 180^\circ$, wie sie insbesonders bei Polygonzügen [II 8] vorkommen, entsteht

$$E_{S_\alpha} = -v \sin \omega_R' \{\operatorname{tg} \beta_R + \operatorname{tg} \beta_L\} = v \sin \omega_L' \{\operatorname{tg} \beta_R + \operatorname{tg} \beta_L\} \quad . \quad (7)$$

Da wir, wie bereits bemerkt, die Richtung des Stehachsenfehlers, d. h. die Stelle des größten Klaffens als Anfangspunkt der Zählung von ω', bei praktischen Messungen nicht kennen, müssen wir u. U. mit dem Eintreten des Maximaleinflusses rechnen, nämlich

$$E_{S_\alpha}\,(\max) = v\,\{\operatorname{tg} \beta_R + \operatorname{tg} \beta_L\}.$$

Diese Formel läßt nun deutlich erkennen, daß die Verfälschung eines 180°-Winkels im Hügel- oder Bergland dann sehr groß wird, wenn die Winkelschenkel gleichartig ($\beta_R = \beta_L$) geneigt sind. Der Einfluß verschwindet aber für $\beta_R = -\beta_L$, was z. B. bei Polygonzügen der Fall ist, die unter gleicher Neigung über einen Hang führen.

2. Der Einfluß E_S für eine beliebige Richtung gewinnt besondere Bedeutung bei Triangulierungsarbeiten im Gebirge, wenn größere Höhenwinkel von Talpunkten nach Kammpunkten und umgekehrt auftreten, was sehr häufig gerade bei kleineren Aufgaben der Fall sein kann.

3. Die schädliche Wirkung eines Stehachsenfehlers auf das Ergebnis von Richtungsmessungen kann durch kein Beobachtungsverfahren aufgehoben werden. Dies ist nur bei Winkelmessung durch Repetition [20,2] möglich, wenn man den gesuchten Winkel α so oft (n-)mal repetiert, als er in 360° enthalten ist.

4. Als einziges Mittel zur möglichsten Verminderung von E_S ist der Stehachsenfehler v selbst tunlichst klein zu halten, durch sorgfältiges Einspielen der nach [19,7] berichtigten Alhidadenlibellen.

5. Wiederholt man die Richtungs- oder Winkelmessung bei jedesmal neuer meßgerechter Aufstellung, so ist anzunehmen, daß die entsprechenden Einflüsse E_S so wie zufällige Fehler auftreten und im Mittel der Teilergebnisse bestmöglich getilgt sind.

19,5 Kippachsenfehler

Wir sprechen von einer positiven Neigung $+i$ der Kippachse, wenn, vom Beobachter aus gesehen, ihr rechtes Ende höher liegt als das linke Ende. Verschiebt man die Kippachse in dieser Lage parallel in den Mittelpunkt M des Limbuskreises und legt um diesen, ähnlich wie in [19,4], die Einheitskugel, dann gilt die Darstellung der Abb. 95 für einen hinter der Zeichenfläche befindlichen Beobachter.

Liegt die Kippachse fehlerfrei (K), dann wird die richtige, d. h. zu K normale Zielachse SM beim Neigen des Fernrohrs bis zur Einstellung des Punktes P die Zielebene SPM beschreiben und am Horizontalkreis die richtige Ablesung A angeben.

Hebt nun der gegen P, also aus der Zeichenebene, herausblickende Beobachter das von ihm rechts liegende Achsenende K' um $+i$ über den Horizont, so wird hiedurch die Zielachse MS nach $M\,(S)$ mitgeschwenkt und beschreibt bei Anzielung von P die Ebene $(S)\,PM$, die den Horizontalkreis in A' trifft. Der Kreisbogen $\widehat{AA'} = E_{+K}$ bestimmt den Einfluß des Kippachsenfehlers $+i$ für einen unter dem Höhenwinkel β geneigten Zielstrahl.

Wird auf der lotrechten Ebene SMA' der Punkt P' unter dem gleichen Höhenwinkel β angenommen, so entstehen zwei schmale sphärische Dreiecke, in denen bei S bzw. A' die Winkel E_{+K} bzw. $+i$ auftreten und die Winkel in P und P' genähert gleich 90^0 gesetzt werden dürfen. Durch Anwendung des Sinussatzes und Beachtung von $\beta = 90^0 - z$ erhält man:

Abb. 95.

$$\sin z : \sin d \doteq 1 : \sin E_{+K},$$

$$\sin \beta : \sin d \doteq 1 : \sin i,$$

$$\sin E_{+K} \doteq \frac{\sin d}{\sin z} \doteq \frac{\sin i \sin \beta}{\sin z} = \sin i \operatorname{ct} z,$$

$$E_{+K} \doteq i \operatorname{ct} z = i \operatorname{tg} \beta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Wir ziehen hieraus folgende Schlüsse:

1. Der Einfluß eines Kippachsenfehlers auf die Horizontalkreisablesung verschwindet für horizontale Zielungen.

2. Für ein festes Ziel ist der Einfluß eines negativen Kippachsenfehlers $-i$ mit $E_{-K} = -i \operatorname{tg} \beta$ gleich groß, aber entgegengesetzt gerichtet dem Einfluß des Kippachsenfehlers $+i$.

3. Wenn in Fernrohrlage I ein positiver Kippachsenfehler vorhanden ist (rechtes Achsenende über dem Horizont), so bleibt dieses Ende beim Durchschlagen in die Fernrohrlage II unverändert. Bei Drehung der Alhidade beschreibt die Kippachse einen Kegelmantel, und nach Wiedereinstellung des gleichen Zielpunktes ist der Kippachsenfehler $-i$ vorhanden, denn die immer unter $|i|$ geneigte Kippachse liegt nun, vom Beobachter aus gesehen, mit ihrem rechten Ende unter dem Horizont.

4. Der Einfluß eines Kippachsenfehlers wird daher getilgt durch Beobachtung in zwei Fernrohrlagen, nämlich z. B.

$$A_I' = A_I + i \operatorname{ct} z, \qquad A_{II}' = A_{II} - i \operatorname{ct} z$$

und Mittelung der Ergebnisse zu

$$A = \frac{A_I' + A_{II}'}{2}.$$

19,6 Zielachsenfehler

Ein positiver Zielachsen- oder Kollimationsfehler $+c$ liegt vor, wenn die fehlerhafte Zielachse Z' mit dem vom Beobachter aus gesehenen rechten Ende der Kippachse den Winkel $90^\circ - c$ einschließt.

Verlegen wir wieder die Zielachse Z' und die horizontale Kippachse K in den Mittelpunkt M des Limbuskreises und der Einheitskugel (Abb. 96). Bei der Kippung des Fernrohrs beschreibt Z' einen Kegelmantel, der die Kugel entlang dem Kleinkreis $Z'P'Z'$ durchdringt, während die richtige Zielachse den Meridian SPA beschreibt. Um den unter dem Höhenwinkel β verlaufenden Zielstrahl MP' in den gleichgeneigten Strahl MP nach dem gegebenen Zielpunkt P zu bringen, ist der Weg $\widehat{P'P} = c$ durch Drehung der Alhidade zurückzulegen. Die hiezu nötige Bewegung wird durch den Winkel zwischen den beiden Vertikalebenen $SP'B$ und SPA angegeben und entspricht daher dem Einfluß E_Z des Kollimationsfehlers auf die Horizontalkreisablesung, nämlich $E_Z = \widehat{AB}$.

Denken wir uns die Ableseeinrichtung mit der Vertikalebene SMP verbunden und die in ihr liegende richtige Zielachse auf P eingestellt, so erhalten wir mit A die richtige Horizontalkreisablesung. Bei Einstellung von P mit der fehlerhaften Zielachse Z' wird wieder der Weg $P'P = c$ beschrieben und die Ableseeinrichtung um den Betrag $\widehat{AB} = \widehat{AA'}$ mitverschwenkt, so daß A' die fehlerhafte Ablesung, nämlich $A' = A - E_Z$, angibt.

Die Größe von E_Z für den positiven Zielachsenfehler $+c$ ermitteln wir aus dem schmalen sphärischen Dreieck SPP' (mit rechten Winkeln bei P und P') aus dem Sinussatz und erhalten

$$\sin E_Z : \sin z = \sin c : 1,$$

$$E_Z \doteq \frac{c}{\sin z} = \frac{c}{\cos \beta} \quad \ldots \ldots \quad (9)$$

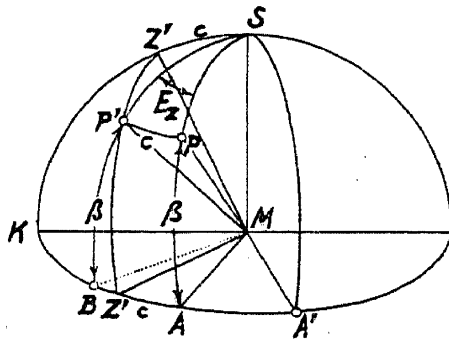



Abb. 96.

Es ergeben sich die nachstehenden Folgerungen:

1. Der Einfluß eines Zielachsenfehlers erreicht seinen Kleinstwert E_Z (Minimum) $= c$ für waagrechte Zielungen und wird für die Richtung zum Zenit unangebbar groß.

2. Ist in der Fernrohrlage I ein positiver Zielachsenfehler vorhanden, so entsteht bei Durchschlagung des Fernrohres in die verkehrte Fernrohrlage und Rückdrehung zum Ziel ein gleich großer, jedoch negativer Kollimationsfehler $-c$, denn die Zielachse Z' schließt den Winkel $90 - c$ nun mit dem linken Ende der Kippachse ein.

3. Wir erhalten demnach in den beiden Fernrohrlagen I und II die Ablesungen $A_I' = A - E_Z$, $A_{II}' = A + E_Z$, also

$$A = \frac{A_I' + A_{II}'}{2},$$

und erkennen daher, daß der Einfluß eines Zielachsenfehlers ausgeschaltet wird: durch Beobachtung in beiden Fernrohrlagen und Mittelung der Ergebnisse.

19,7 Prüfung und Berichtigung der Achsenfehler

Die für die vorausgehenden Untersuchungen maßgebende Voraussetzung, daß die erwähnten Achsenfehler höchstens vom ersten Kleinheitsgrad sind [19], muß durch Überprüfung des Instrumentes und anschließende Berichtigung verwirklicht werden[14].

Wir wählen hiebei stets die Reihenfolge: Stehachse, Zielachse, Kippachse, wenden aber zur Überprüfung, je nach der Genauigkeit der vorhandenen Ableseeinrichtungen, verschiedene Verfahren an.

19,71 Instrumente mit wenig genauen Ableseeinrichtungen (einfache Theodolite, Bussolen) oder keinen Ableseeinrichtungen (Kippregel [30])

A. Stehachse.

Bei einer Kippregel erfolgt die Lotrechtstellung der Stehachse (unter der Annahme, daß sie vom Mechaniker zur Auflagefläche des Lineals normal gerichtet wurde) durch Waagrechtlegung des Meßtischbrettes [30] mit Hilfe einer Setzlibelle, deren Prüfung und Berichtigung wir in [18,1] erörtert haben.

Für Instrumente mit Alhidadenlibellen fordern wir, daß ihre Spielpunkttangenten zur Stehachse normal sind und halten den folgenden Vorgang der Prüfung und Berichtigung ein.

1. Man bringt eine der Libellen möglichst gut über die erste Stellungslinie s_1m (die nach [18] mit nur einer Stellschraube s_1 bewegt wird), läßt diese Libelle durch Drehung von s_1 einspielen und bewirkt das Einspielen der anderen Libelle über der zweiten Stellungslinie s_2s_3 durch gegensinnig gleichmäßige Drehung der beiden Schrauben s_2, s_3. Wir betrachten hier nur den Vorgang für die über der ersten Stellungslinie befindliche Libelle und übertragen ihn sinngemäß auf die zweite Libelle.

Als Folge der Libelleneinspielung stellen wir fest:

Die Spielpunkttangente n liegt waagrecht, und die Projektion der Stehachse S' auf den Krümmungskreis der Libelle schließt mit der Lotrichtung S den Winkel V ein (Abb. 97 a).

2. Durch 180^0-Drehung der Alhidade um S' gelangt die Spielpunkttangente n in die strichpunktierte Lage von Abb. 97 b, und die Blase der Libelle zeigt einen Ausschlag an, der dem Winkel $2V$ entspricht.

3. Den halben Ausschlag beseitigen wir mit den Richtschräubchen der Libelle, wodurch die Mitte ihrer Blase nach A_1 ($\widehat{AA_1} = {}^1/_2\,\widehat{AN}$) rückt (Abb. 97 c). Da nun die Spielpunkttangente zu S' normal steht, ist die eingangs genannte

Forderung erfüllt und die Libelle daher richtig bzw. berichtigt. Die Projektion der Stehachse S' schließt mit der Lotrichtung S noch den Winkel V ein, der dem restlichen Ausschlag $\widehat{A_1N}$ entspricht.

4. Tilgt man nun diesen Ausschlagrest durch Drehung der Stellschraube, so spielt die Libelle ein. Ihre Spielpunkttangente liegt waagrecht und da sie nach 3. zu S' normal steht, ist S' damit in die Lotrichtung S übergeführt (Abb. 97 d).

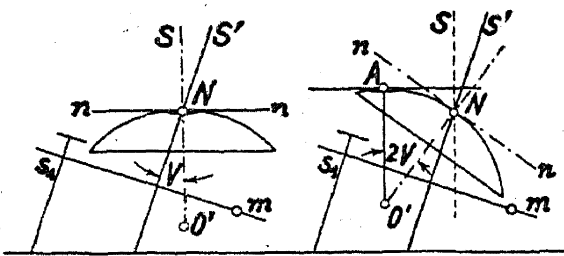
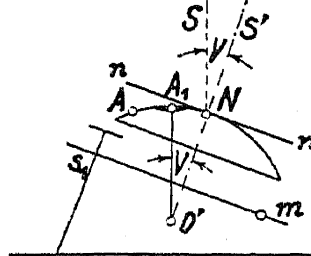
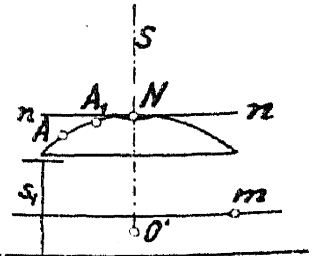



Abb. 97a. Abb. 97b. Abb. 97c. Abb. 97d.

Durch sinngemäße Anwendung dieses Vorganges können zwei vorhandene Alhidadenlibellen, die man dann auch als Kreuzlibellen bezeichnet, gleichzeitig geprüft und berichtigt werden. Oder aber man berichtigt erst die eine Libelle vollständig, bringt die zweite Libelle über die verwendete (nun richtige) Stellungslinie und entfernt den sich zeigenden Ausschlag zur Gänze mit den Richtschräubchen.

Bei modernen Instrumenten ist zumeist nur eine empfindliche Alhidadenlibelle vorhanden und eine weniger genaue Dosenlibelle, die zur raschen vorläufigen Richtung der Stehachse dient. In diesem Fall wird vorerst die Alhidadenlibelle über der ersten Stellungslinie berichtigt, und nach Lotrechtstellung der Stehachse ist die Einspielung der Dosenlibelle mit ihren drei Richtschräubchen herbeizuführen.

Zur Prüfung einer einzelnen Dosenlibelle verwendet man jene beiden Spielpunkttangenten, die in der Spielpunktebene über zwei Richtschräubchen r_2, r_3 bzw. über der durch das dritte Schräubchen r_1 gelegten Normalebene zu $\overline{r_2 r_3}$ liegen. Der einzuhaltende Vorgang entspricht dann durchaus dem für eine Röhrenlibelle geschilderten.

Als Schlußergebnis halten wir fest, daß, selbst nach bestmöglicher Berichtigung, ein Restfehler der Libelle in der Größenordnung von etwa einigen Zehntelintervallen verbleiben wird und demnach bei den späteren meßgerechten Aufstellungen des Instrumentes mit einem Vertikalachsenfehler v zu rechnen ist, der die halbe Libellenangabe erreichen kann.

B. Zielachse.

Ihre geforderte Normalstellung zur Kippachse überprüfen wir durch das nachstehend beschriebene Verfahren von *Jordan* zur

Bestimmung des v i e r f a c h e n K o l l i m a t i o n s f e h l e r s 4c. Hiezu ist ein Zielpunkt P erforderlich, der sich in weiter Ferne nahe dem Horizont (Höhenwinkel $\beta_P \doteq 0$) befindet, und ein Maßstab (Nivellierlatte), die in einem Abstand von etwa 50 Metern auf der dem Punkt P gegenüberliegenden Seite zur Zielrichtung normal und horizontal eingerichtet wird.

V o r g a n g d e r P r ü f u n g u n d B e r i c h t i g u n g (Abb. 98).

1. Nach meßgerechter Aufstellung des Instrumentes ist vorerst die für spätere Höhenwinkelmessung notwendige tatsächlich waagrechte Lage des Horizontalfadens des Fadenkreuzes in folgender Weise zu überprüfen. Entfernt sich, bei Feinbewegung der Alhidade, ein am linken Rand des Gesichtsfeldes eingestellter Zielpunkt P vom Faden, so ist die Strichplatte, nach Lüftung ihrer Halteschraube, um die Fernrohrachse zu drehen (zu kanten), bis P dauernd am nun waagrechten Faden gleitet.

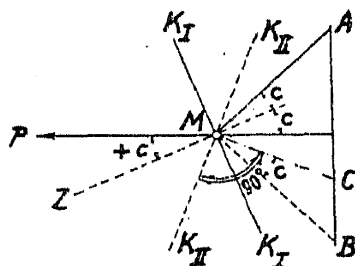



Abb. 98.

2. In Fernrohrlage I zielt man jetzt P an und erhält hiedurch die in der Abb. 98 mit K_I bezeichnete Kippachsenlage. Bei Vorhandensein eines positiven Kollimationsfehlers $+c$, dem wegen $\beta_P \doteq 0$ der Einfluß $E_Z = c$ [19,6] entspricht, weist die richtige Zielachse Z in die gestrichelt angegebene Richtung.

3. Das Durchschlagen des Fernrohres führt den Zielstrahl MP um K_I in einem Kegelmantel herum, den die erwähnte Latte an der Stelle A durchstößt.

4. In dieser Fernrohrlage (II) wird zum Punkt P zurückgedreht und neuerlich eingestellt. Durch Verfolgung des Vorganges an Hand von Abb. 98 erkennt man, daß hiebei die gestrichelte Kippachsenlage K_{II} entsteht.

5. Schlagen wir das Fernrohr neuerlich durch, so bewegt sich der Zielstrahl nun auf einem Kegelmantel um K_{II}, und an der Latte ergibt sich die Endablesung B.

Man entnimmt der Abb. 98, daß die Ablesungsdifferenz $B - A$ dem vierfachen Zielachsenfehler $4c$ entspricht und erhält, wegen der Kleinheit von $\overline{AB}$ gegen den Abstand der Latte vom Instrument, den Treffpunkt C der richtigen Zielachse in dem B näherliegenden Viertelpunkt von $\overline{BA}$.

6. Bei gelüfteter Halteschraube der Fadenkreuzplatte ist der vertikale Zielfaden mit den horizontal wirkenden Richtschräubchen auf C sorgfältig einzurichten. Diese Schlußlage wird, bei gleichmäßiger Andrückung der Richtschräubchen, durch Anziehen der Halteschraube versichert.

Wurden in den Ablesungen A, B, C die Millimeter beachtet, dann ist anzunehmen, daß der verbleibende Kollimationsfehler den Betrag von etwa 4″ nicht wesentlich überschreitet.

Bei der Prüfung einer Kippregel wird u. U. mit einem größeren Restfehler zu rechnen sein, was aber, im Hinblick auf die an sich geringere Genauigkeit der zeichnerischen Richtungsbestimmung, wenig von Belang ist.

C. Kippachse.

Da bei einfachen Instrumenten die Kippachse fast immer fest gelagert wird und ihre Neigbarkeit nur bei besser ausgeführten Kippregeln vorgesehen ist, kommt das nachstehend beschriebene Verfahren im allgemeinen wohl nur bei der Überprüfung und Berichtigung von Kippregeln mit neigbarer Kippachse zur Anwendung.

Hiezu ist ein recht steil verlaufender Zielstrahl erforderlich und ein Maßstab, der im Horizont des Instrumentes so eingerichtet wird, daß er zur Zielebene normal steht. Der Abstand des Maßstabes soll wieder möglichst etwa 50 Meter betragen, wird aber zumeist durch die geforderte große Neigung zum Zielpunkt eingeschränkt.

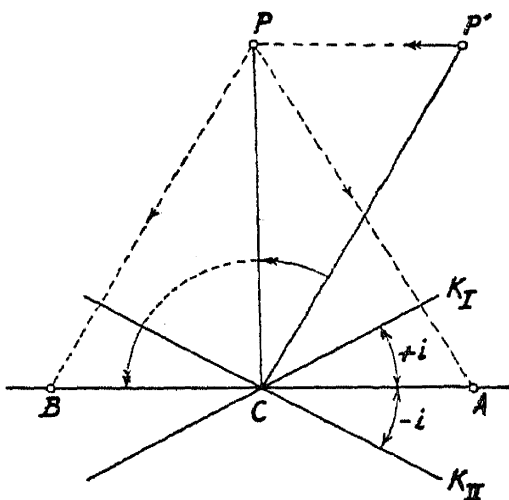



Abb. 99.

Vorgang der Prüfung und Berichtigung (Abb. 99).

1. Nach meßgerechter Aufstellung des Instrumentes, dessen Zielachse bereits nach dem vorne angegebenen Verfahren berichtigt ist, wird der Zielpunkt P eingestellt. Ist nun die Kippachse K_I mit dem positiven Fehler $+i$ geneigt [19,5], dann beschreibt die zu ihr normale Zielachse eine oberhalb des Horizontes nach links geneigte Zielebene. Der Maßstab durchstößt sie in einem Punkt A rechts von der Vertikalen durch P.

2. Zielen wir nach Durchschlagung in die verkehrte Fernrohrlage den Punkt P neuerlich an, dann entsteht zufolge der Überlegungen von [19,5] mit der jetzigen Kippachsenlage K_{II} ein Fehler $-i$, und die durch Fernrohrsenkung beschriebene Zielebene ist oberhalb des Horizontes nach rechts geneigt.

Sie wird vom Maßstab in dem Punkt B durchstoßen, der, bezüglich der Lotebene durch P, zum Punkt A symmetrisch liegt. Wir erhalten daher in dem Mittelpunkt C von $\overline{AB}$ jene Stelle des Maßstabes, nach der die Zielachse bei horizontaler Kippachse gerichtet sein muß.

3. Stellt man diesen Punkt C nun durch Bewegung der Alhidade ein, so entspricht, zufolge Formel (8) von [19,5], die Verdrehung dem Einfluß $E_K = i \operatorname{tg} \beta_P$ des Kippachsenfehlers für die zum Punkt P vorhandene Neigung β_P. Heben wir jetzt das Fernrohr, bis sein Horizontalfaden durch P geht, dann weist der Vertikalfaden in die Richtung P' rechts von P.

4. Wird durch Hebung des rechten oder Senkung des linken Kippachsenendes der Vertikalfaden nach P gebracht, dann ist die Neigung der Kippachse beseitigt.

Zu dieser Berichtigung der Kippachse ist, wie bereits erwähnt, eines ihrer Lager der Höhe nach verstellbar, u. zw. über zwei durch Zug und Druck wirkende Schrauben am oberen Ende eines Fernrohrträgers.

Kippregeln sind zumeist so eingerichtet, daß die Kippachse und eine mit ihr verbundene Kippachsenlibelle fein geneigt werden kann. Wir fordern, daß die Kippachse horizontal sei, wenn die Kippachsenlibelle einspielt. Ist eine Kippregel nach dem obigen Vorgang zu prüfen, dann legen wir die Linealziehkante stets an einen auf dem horizontal gestellten Meßtischbrett geeignet bezeichneten (Pikiernadel) Drehpunkt und bringen vor jeder Einstellung des Zielpunktes P die Kippachsenlibelle mit der zugehörigen Feinschraube zum Spiel. Hiedurch ist während der Überprüfung die vorausgesetzte gleiche fehlerhafte Neigung der Kippachse gewährleistet.

Zur schließlichen Berichtigung nach dem vorhin angegebenen Punkt 4. neigt man die Kippachse mit ihrer Feinschraube, bis der Vertikalfaden nach P gelangt ist. Die Kippachse ist jetzt horizontal, aber die vorher einspielende Libelle wird, wegen der soeben auf sie übertragenen Neigung, einen Ausschlag zeigen, der zur Gänze durch ihre Richtschräubchen zu beseitigen ist.

19,72 Instrumente mit genauen Ableseeinrichtungen und Kippachsenlibelle

Bei vorhandener Kippachsen- oder Reiterlibelle[15] kann die Prüfung der Steh- und Kippachse gleichzeitig ausgeführt und diese auch zur ersteren normal gerichtet werden, wenn eines der Kippachsenlager der Höhe nach verstellbar ist. Nach erfolgter Berichtigung dient die Reiterlibelle in Sonderfällen (geographische Ortsbestimmung[16], bewegliche Ziele), bei bekannter Libellenempfindlichkeit τ, zur Messung der augenblicklich vorhandenen Kippachsenneigung i durch sog. Achsnivellement [18,1]. Der Einfluß des hiebei ermittelten Fehlers i wird später, mit der beobachteten

Zenitdistanz z des betreffenden Zielstrahles, nach [19,5] berechnet und der erhaltenen Horizontalkreisablesung als Verbesserung zugefügt[17].

D. Gleichzeitige Prüfung der Steh- und Kippachse.

Von einer berichtigten Reiterlibelle fordern wir, daß die Spielpunkttangente n bzw. die Kippachse in einer lotrechten Ebene liegen und zueinander parallel sind. Die erste Nebenforderung schließt den sog. Kreuzungsfehler aus und wird durch Wiegen der Libelle geprüft, während die Erfüllung der Hauptforderung, nämlich des Parallel-Liegens der beiden Linien, wie bei einer Setzlibelle zu untersuchen ist.

Vorgang der Prüfung und Berichtigung

1. Als Vorbereitung führt man die genäherte Lotrechtstellung S' der Stehachse mit den Alhidadenlibellen [19,71] oder auch mit der zu prüfenden Reiterlibelle herbei.

2. Kreuzungsprüfung.

Nach Auslösung der Stützvorrichtungen für die Reiterlibelle wird diese vom Beobachter um die Kippachse langsam zu sich her und von sich weg bewegt (Wiegen-Wälzen). Bleibt die Libellenblase hiebei an der gleichen Stelle, dann ist keine Kreuzung vorhanden; gleitet sie aber ab, so ist die gegebene Kreuzung, nach entsprechender Überlegung des Zusammenhanges, durch zwei auf das Libellengehäuse horizontal wirkende Richtschräubchen zu beseitigen.

3. Prüfung der Parallel-Lage von Spielpunkttangente und Kippachse.

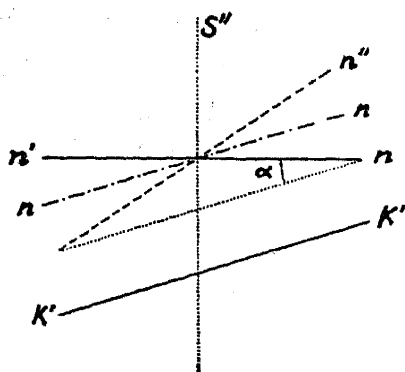
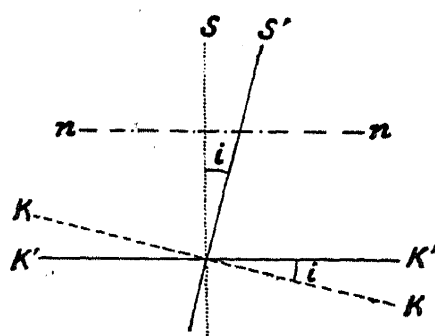



Abb. 100a. Abb. 100b.

Man bringt die Reiterlibelle durch Drehung der Alhidade in die erste Stellungslinie und läßt sie mit der Stellschraube s_1 einspielen. Nach Abb. 100a liegt die zu prüfende Spielpunkttangente n' nun waagrecht, ist aber gegen die Kippachse K' unter dem kleinen Winkel α geneigt. Durch Umsetzen der Libelle ergibt sich die gestrichelte Lage n'' der Spielpunkttangente, und der sich zeigende Ausschlag der Libellenblase entspricht dem Neigungsbetrag $2\,\alpha$. Wird die erste Hälfte des Ausschlages mit den Richtschräubchen der Libellenfüße entfernt, dann erhält die Spielpunkttangente die strichpunktierte Richtung n und damit die

geforderte, zur Kippachse parallele Lage. Nach Tilgung des Restausschlages spielt die Libelle ein, und das Parallelsystem ($n \parallel K'$) liegt waagrecht, während die Projektion der Stehachse auf die Systemebene die unbekannt fehlerhafte Stellung S' annimmt (Abb. 100 b). Man erkennt, daß die Projektion von S' auf die Ebene ($n K'$) gegen die Lotlinie S unter dem bestehenden Kippachsenfehler i geneigt ist.

4. Gleichzeitige Berichtigung von Steh- und Kippachse.

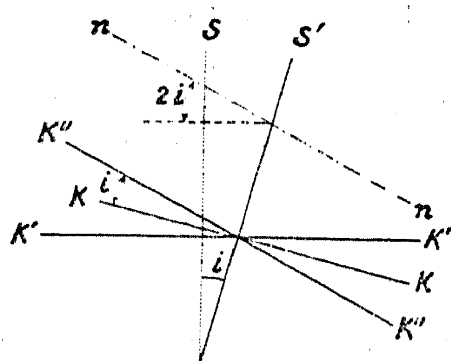
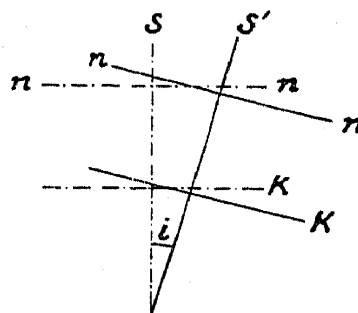



Abb. 100 c. Abb. 100 d.

Drehen wir die Alhidade aus der durch Abb. 100 b angedeuteten Schlußstellung um 180°, so kommt das System ($n K'$) in die Lage ($n K''$) der Abb. 100 c, und der sich zeigende Libellenausschlag entspricht der Neigung $2i$ von ($n K''$).

Beseitigt man die erste Hälfte i dieses Ausschlages durch Senkung der Kippachsenrichtung K'' nach K (Abb. 100 c) mit wohlüberlegter Betätigung der Richtschräubchen am Achslager, dann ist die Kippachse berichtigt, denn sie erfüllt nun die Grundforderung und steht normal zur Stehachse S' (Abb. 100 c).

Diese ist aber noch unter dem Winkel i gegen das Lot S geneigt, und wenn wir den restlichen Ausschlag durch Bewegung der Stellschraube s_1 tilgen, dann geht hiedurch S' in die Lotrichtung S über (Abb. 100 d).

In dieser Schlußstellung sind sämtliche eingangs erwähnten Forderungen verwirklicht, nämlich: Spielpunkttangente n und Kippachse K sind parallel, diese steht normal zur Stehachse S, so daß bei Einspielen der Reiterlibelle die Kippachse waagrecht liegt und zugleich die Stehachse für die verwendete Stellungslinie lotrecht gerichtet ist.

Die absolute Lotrechtstellung der Stehachse ergibt sich, indem man die Reiterlibelle auch in der zweiten Stellungslinie s_2, s_3 zum Spiel bringt.

Ist diese Prüfung und Berichtigung der Kippachsenlibelle durchgeführt, dann wird man die vorhandenen weniger empfindlichen Alhidadenlibellen mit ihren Richtschräubchen einspielen lassen.

E. Zielachse.

Wir können ohne weiteres auch das unter [19,71 B.] angegebene Verfahren anwenden, werden jedoch praktischer und einfacher die

vorausgesetzten genauen Ableseeinrichtungen dieser Instrumentengruppe in folgender Weise zur Prüfung und Berichtigung ausnützen.

In den Schlußfolgerungen zu [19,6] wurde festgestellt, daß die Beobachtungsergebnisse A_{I}', A_{II}' in beiden Fernrohrlagen I, II, bei vorhandenem Zielachsenfehler c, von dem Mittelwert $A = \frac{A_{\mathrm{I}}' + A_{\mathrm{II}}'}{2}$ je um den Betrag c abweichen, wenn das Ziel im Horizont liegt.

Daher zielen wir nach meßgerechter Aufstellung des Instrumentes einen Punkt an, der unter $\beta = 0$ erscheint, lesen ab (z. B. $l = 14^{\circ}\,17'\,12''$, $r = 194^{\circ}\,17'\,16''$) und bilden wegen [19,2] das zentrierte Mittel (z. B. $A_{\mathrm{I}}' = 14^{\circ}\,17'\,14''$. Bei Wiederholung des Vorganges in der FRL II ergibt sich z. B. $l = 14^{\circ}\,17'\,27''$, $r = 194^{\circ}\,17'\,33''$ und $A_{\mathrm{II}}' = 14^{\circ}\,17'\,30''$, also $A = 14^{\circ}\,17'\,22''$ als vom Einfluß des Zielachsenfehlers befreites Beobachtungsergebnis.

Durch Feindrehung der Alhidade stellt man die geforderte Ablesung her, wobei sich etwa ergibt $l = 14^{\circ}\,17'\,19''$, $r = 194^{\circ}\,17'\,25''$. ($A = 14^{\circ}\,17'\,22''$), und sieht beim Blick durch das Fernrohr, daß der Vertikalfaden nicht mehr den Zielpunkt trifft.

Zur Berichtigung wird, ähnlich dem Vorgang von Punkt 6. zu [19,71 B.], die Halteschraube der Fadenkreuzplatte gelöst, der Vertikalfaden mit Hilfe der horizontal wirkenden Richtschräubchen auf den Zielpunkt eingestellt und die Halteschraube wieder angezogen.

Bei sachgemäßer Durchführung muß die Beobachtung in der anderen Fernrohrlage nun innerhalb der möglichen Fehler das gleiche zentrierte Mittel ergeben, nämlich $A = 17^{\circ}\,14'\,22''$.

F. Kippachse.

Auch hier kann man den umständlicheren Vorgang nach [19,71 C.] einhalten, wird jedoch vorteilhafter die Ergebnisse von [19,5] heranziehen, d. h. durch Beobachtung den Einfluß einer vorhandenen Kippachsenneigung bestimmen und diese hierauf mit dem Kippachsenlager beheben.

Ist aber überhaupt ein Instrument mit einem richtbaren Kippachsenlager versehen, dann ist auch zumeist eine Reiterlibelle vorhanden, so daß die Berichtigung am besten nach dem vorhin dargestellten Verfahren D. von [19,72] durchgeführt wird.

Die Entwicklungen von [19,5] ergaben, daß der Einfluß $E_K = i \cdot \operatorname{ct} z$ eines Kippachsenfehlers auf die Horizontalkreisablesung unmeßbar groß wird, wenn die Zielung sich der Lotrichtung nähert und daß E_K für $z = 90^{\circ}$ verschwindet.

Wir müssen deshalb, um einen solchen Einfluß überhaupt feststellen zu können, so wie in [19,71 C.], einen möglichst steilen Zielstrahl in beiden Fernrohrlagen beobachten.

Wenn die Messungen der Reihe nach ergeben haben $A_I' = 15^\circ 12' 16''$, $A_{II}' = 15^\circ 12' 48''$, so müßte, bei horizontaler Lage der Kippachse, in beiden Fernrohrlagen $A = 15^\circ 12' 32''$ beobachtet werden.

Wir verdrehen die Alhidade mit der Feinschraube, bis sich als zentriertes Mittel ergibt: $A_{II}' = A = 15^\circ 12' 32''$, kippen das Fernrohr so weit, daß der Horizontalfaden durch den früher eingestellten Zielpunkt geht und erkennen in der seitlichen Abweichung des Vertikalfadens den Einfluß der Kippachsenneigung. Betätigt man nun wohlüberlegt die Richtschrauben des Kippachsenlagers, bis der Vertikalfaden durch den Zielpunkt geht, dann ist die geforderte horizontale Lage der Kippachse erreicht. Bei Beobachtung in der FRL I muß sich, innerhalb der möglichen Fehler, das Ergebnis $A_I' = A$ einstellen.

19,8 Teilungs- und Schraubenfehler[18]

Früher entstanden neue Kreisteilungen durch Kopierung der Teilung eines sog. Urkreises, deren Fehler, als Ergebnis einer Teilungsuntersuchung[19], mit großer Genauigkeit bekannt waren. Die dem Fehler des zu übertragenden Teilstriches entsprechende Verbesserung wurde als Ablesung an einem Schraubenmikroskop eingestellt, und nach Einfassung des Teilstriches betätigte man, von Hand aus, ein mit dem Mikroskop starr verbundenes Reißerwerk, dessen Stichel dann die Striche auf dem Silberstreifen des neuen Kreises ritzte.

Derzeit verwendet man Kreisteilungsmaschinen, die einen Zahnkreis sowie das Reißerwerk vollautomatisch in Gang setzen. Durch besondere Verfahren ist es gelungen, die Abstände der Kreiszähne sehr genau zu schleifen. Die bei einer Prüfung festgestellten Restfehler werden bestmöglich durch eine Globoidschnecke getilgt, die beim Antrieb des Kreises mit vielen Gängen in seinen Zahnkranz eingreift.

Modern eingerichtete Werke sind von der ursprünglichen und im allgemeinen noch üblichen Teilung auf Silber abgegangen und benützen als Träger der Teilung spannungsfrei gelagerte Kreisringe aus optischem Glas. Die Teilstriche werden nach Durchritzung einer Wachsschichte der Glasfläche aufgeätzt.

Die Mechanik des Teilungsvorganges bedingt die Entstehung von Strichfehlern t_φ, deren Größe und Verlauf als periodische Funktion durch eine *Fourier*sche Reihe im allgemeinen recht gut wiedergegeben werden kann, nämlich

$$t_\varphi = \sum_{i=1}^{i=n} k_i \sin(i\varphi + C_i), \qquad (i = 1, 2, \ldots n).$$

Wird diese Darstellung des sog. totalen Strichfehlers mit dem Glied $i = k < n$ abgebrochen, dann gibt diese Entwicklung die Größe des sog. regelmäßigen Strichfehlers an, und der Reihenrest für alle $i < k$ entspricht einem Fehleranteil, den wir als unregelmäßigen oder zufälligen Strichfehler, von einer höheren als der Ordnung k, bezeichnen.

Da man praktisch das zentrierte Mittel von zwei um 180° abstehenden Ableseeinrichtungen als Kennzeichen einer Richtungsbeobachtung verwendet, ergibt sich ein diesem Mittelwert anhaftender sog. totaler Durchmesserteilungsfehler

$$D = \frac{t_\varphi + t_{(\varphi + 180^0)}}{2}.$$

Berechnen wir ihn aus der obigen Reihe für t_φ und aus

$$t_{(\varphi + 180^0)} = \sum_{i=1}^{i=n} k_i \sin \{i(\varphi + 180^0) + C_i\},$$

so fallen im Mittel D die Glieder mit ungeradem i fort, und es entsteht die z. B. auf vier Glieder abgekürzte Reihe

$$D_\varphi = k_2 \sin(2\varphi + C_2) + k_4 \sin(4\varphi + C_4) + k_6 \sin(6\varphi + C_6) + \\ + k_8 \sin(8\varphi + C_8).$$

Ausgeführte Untersuchungen vieler Kreisteilungen und die Erfahrung haben gezeigt, daß die Koeffizienten k_i mit wachsendem Index i im allgemeinen, insbesonders bei modernen Kreisteilungen, abnehmen und k_2 kaum einige Zehntelsekunden überschreitet.

Für die praktische Auswirkung dieser Fehler wesentlich ist die Feststellung, daß ihr Einfluß durch Beobachtung an gleichmäßig über den Kreis verteilten Stellen φ, und Mittelung der Ergebnisse, in einem mit der Beobachtungszahl fortschreitendem Ausmaß getilgt wird.

Wählen wir z. B. $\varphi_1 = 0^0$, $\varphi_2 = 45^0$, $\varphi_3 = 90^0$, $\varphi_4 = 135^0$, so entsteht:

$$\begin{aligned}
D_{\varphi 1} &= k_2 \sin C_2 + k_4 \sin C_4 + k_6 \sin C_6 + k_8 \sin C_8 + \ldots \\
D_{\varphi 2} &= k_2 \cos C_2 - k_4 \sin C_4 - k_6 \cos C_6 + k_8 \sin C_8 + \ldots \\
D_{\varphi 3} &= - k_2 \sin C_2 + k_4 \sin C_4 - k_6 \sin C_6 + k_8 \sin C_8 - \ldots \\
D_{\varphi 4} &= - k_2 \cos C_2 - k_4 \sin C_4 + k_6 \cos C_6 + k_8 \sin C_8 - \ldots
\end{aligned}$$

Bildet man die Mittel der Beobachtungen an den Kreisstellen φ_1 und φ_3 bzw. φ_2 und φ_4, dann ergibt sich als Einfluß der Durchmesserteilungsfehler

$$\frac{D_{\varphi 1} + D_{\varphi 3}}{2} = + k_4 \sin C_4 + k_8 \sin C_8 + \ldots$$

bzw.

$$\frac{D_{\varphi 2}+D_{\varphi 4}}{2}=-k_4\sin C_4+k_8\sin C_8-\ldots$$

und wir sehen, daß im Mittel aus allen vier Beobachtungen auch das Glied k_4 sin C_4 des periodischen Durchmesserteilungsfehlers ausfällt, also nur mehr ein Fehlerrest verbleibt, den wir, sinngemäß zu den Strichfehlern, als zufälligen Durchmesserteilungsfehler von der 8. und höheren Ordnung bezeichnen.

Durchaus ähnliche Verhältnisse kann man bei den Fehlern feststellen, die durch die unvermeidliche mechanische Mangelhaftigkeit des Schnittes der Spindel und Mutter von Meßschrauben entstehen.

Stellt man auch den totalen Schraubenfehler durch eine *Fourier*sche Reihe dar, so gibt die Summe ihrer ersten maßgebenden Glieder den periodischen Anteil an, und der verbleibende Rest entspricht den unregelmäßig zufälligen Schraubenfehlern. Eine allmähliche gleichmäßige Zu- oder Abnahme der Ganghöhe bedingt den sog. fortschreitenden Schraubenfehler, der nur bei sehr langen Meßschrauben von Bedeutung ist, die für geodätische Zwecke kaum Verwendung finden.

Schlußbemerkungen.

Die in diesem Abschnitt [19] angestellten Überlegungen theoretischer und praktischer Art hatten nicht den Zweck, die Bedeutung der Achsen- und sonstigen Instrumentalfehler zu betonen oder zu übertreiben. Sie sollten vielmehr auf jene mannigfaltigen Fehlerquellen hinweisen, mit denen bei der Verwendung der Instrumente zu rechnen ist. Ihre Kenntnis gibt vor allem dem Anfänger einen durchaus nützlichen Einblick in die Mechanik der Meßvorgänge und u. U. Anregung zur Erweiterung seiner Erfahrung durch eigene denkende Verfolgung von gegebenen Zusammenhängen, die hier nur deshalb nicht erwähnt wurden, weil ihre Aufdeckung den beschränkten Rahmen überschreiten möchten.

Dem Praktiker muß es wertvoll sein, daß das Wissen über die Wirkung der Achsenfehler und ihre Ausschaltung schließlich auf drei einfache Grundsätze und Regeln zusammenschrumpft, nämlich:

1. Man stellt die Stehachse so genau als möglich lotrecht,
2. man zentriert die für jede Richtung erhaltenen, u. U. wegen Run verbesserten Ablesungen,
3. man beobachtet jede Richtung in beiden Fernrohrlagen und mittelt die Ergebnisse.

In diesem Schlußergebnis sind die Einflüsse der erwähnten

Achsenfehler, bis auf jenen der Stehachse, ausgeschaltet, jedoch noch Fehleranteile enthalten, die sich aus der etwa nicht sorgfältigen zentrischen Aufstellung des Instrumentes, den Kreisteilungs- und Schraubenfehlern bzw. der allgemeinen Beobachtungsungenauigkeit ergeben.

Ihre Wirkung kann durch unabhängige Wiederholungen weitgehend herabgesetzt werden, wobei vor jeder von ihnen die Alhidadenachse erneut lotrecht zu richten ist. Zur bestmöglichen Tilgung der Teilungs- und Schraubenfehler bei Beobachtungen mit Mikroskoptheodoliten hat man für n beabsichtigte Wiederholungen den Kreis jedesmal um $\frac{180^0}{n}$ zu verdrehen und auch die Ausgangslagen der Meßschraube in ähnlicher Weise zu verändern.

Das Endmittel aller Beobachtungsergebnisse wird von der Seite der Instrumentalfehler her nur mehr Resteinflüssen ausgesetzt sein, die, von wesentlich geringerer als der ersten Ordnung [19], eher vernachlässigbar sind als jene meist systematisch wirksamen Anteile, die vom Beobachter und den äußeren Verhältnissen herrühren [II 11]. Diese Fehleranteile sind nur mehr durch Beobachterwechsel und Verteilung der Messungen auf verschiedene Beobachtungszeiten und -umstände feststellbar. Die hohe Vervollkommnung der modernen Instrumente und die von ihnen dargebotene Präzision öffnet geradezu den Weg und die Möglichkeit zur Untersuchung äußerer physikalisch-meteorologischer und physiologisch-psychologischer Einflüsse auf geodätische Messungen und erklärt damit die moderne Geodäsie zu einem wichtigen unterstützenden Werkzeug der Naturforschung.

20 Messung von Horizontalrichtungen und -winkeln

Zur Festlegung der für die Grundrißaufnahme notwendigen Richtungen oder Winkel werden verschiedene Verfahren benützt, die im einzelnen je nach dem Zweck, der angestrebten Genauigkeit und dem verfügbaren Instrument zu wählen sind, seine meßgerechte Aufstellung erfordern und die möglichste Tilgung der Instrumental- und sonstigen Fehler zum Ziel haben[20].

Die Vorbereitung der m e ß g e r e c h t e n A u f s t e l l u n g besteht in der Z e n t r i e r u n g des Instrumentes über dem gegebenen Punkt, u. zw. entweder mit Hilfe einer die Spitzen der Stellschrauben bzw. die Spannplatte festhaltenden P f e i l e r p l a t t e oder mit einem D r e i b e i n s t a t i v.

Für Triangulierungsbeobachtungen werden die Stativfüße, zur Sicherung gegen Beeinflussung durch das Herumtreten während der Arbeit, auf fest in den Boden gerammte Pflöcke aufgesetzt. Nur bei

der Messung von Polygonzügen darf man die Stativbeine unmittelbar in den Boden eintreten, und stets ist auch auf gut waagrechte Lage des Stativtellers zu achten, ehe man, nach der vorläufigen Zentrierung mit einem Senkel, die Klemmschrauben der Beine straff anzieht. Diese Klemmung entfällt bei modernen Stativen, deren Beine mit regelbarer Reibung im Stativkopf lagern.

Das Instrument wird mit der Herz- oder Spannschraube leicht an die Tellerfläche gedrückt, worauf man, bei ungefähr einspielenden Alhidadenlibellen, durch Verschiebung des Instrumentes zentriert, d. h. die Spitze des freihängenden Senkels über den Bodenpunkt bringt. Bei Benützung eines optischen Lotes (Abb. 73, 74) wird das Instrument bei gut einspielender Dosenlibelle durch Verschiebung in zwei zueinander normalen Richtungen feinzentriert, bis die Einstellmarke auf den Bodenpunkt zeigt. In dieser Schlußlage ist das Instrument mit dem Teller durch gutes, aber nicht unmäßiges Anziehen der Herz- bzw. Spannschraube zu verbinden.

Jedes optische Lot ist vor Beginn der Außenarbeiten zu überprüfen, indem man z. B. bei guter Einspielung der Alhidadenlibellen die Spitzenlage des ruhig hängenden Senkels bezeichnet und nach seiner Wegnahme beobachtet, ob die Einstellmarke den angegebenen Punkt trifft. Eine Abweichung ist mit den Richtschräubchen des optischen Lotes zu beseitigen.

Zur schärferen und vom Senkel unabhängigen Prüfung kann man die Spannplatte am Stativteller mit einer feinen Linie umreißen und nach genauer Lotrechtstellung der Instrumentenachse die Lage der Einstellmarke des optischen Lotes am Boden angeben. Nach Verdrehung der Spannplatte und Einpassung in ihre Umrißlinie wird der Vorgang wiederholt. Bei unrichtigem optischem Lot entsteht am Boden ein gleichseitiges Dreieck, auf dessen Schwerpunkt die Einstellmarke mit den erwähnten Schräubchen beim Okular einzurichten ist.

Eine sehr einfache Prüfung des eingebauten optischen Lotes ergibt sich z. B. durch eine solche Auflegung der Alhidade auf einer Tischfläche, daß der Limbus drehbar bleibt. Weist dabei die Einstellmarke des optischen Lotes immer nach demselben Punkt, dann liegt die Einstellmarke in der Stehachse des Instrumentes.

Von Zwangszentrierung spricht man, wenn das Instrument in seinem Dreifuß gegen eine gleichachsige Zieleinrichtung (Tafel, Stift) vertauscht werden kann.

Bei einigen modernen Instrumenten wurde eine sog. Zentrierstock- oder Lotstabzentrierung vorgesehen (Abb. 101). Hier setzt man die Spitze des Stabes auf den Punkt und richtet das Stativ ein, unter Achtung auf gut waagrechten Stativteller, bis die Dosenlibelle auf der unteren Hülse des Gerätes nahezu einspielt. Das obere, mit der Anzugschraube des Theodolites verbundene Stabrohr gleitet während der Zentrierung in der Hülse, deren Oberrand auf der Rohrteilung die Höhe der Kippachse über der Stabspitze (Instrumentenhöhe) angibt.

An Hand der nachfolgenden Abbildungen vergegenwärtigen wir uns, als Ergänzung zu den Abb. 71, 72, noch einige Beispiele für verschiedene noch nicht erwähnte Zusatzgeräte bzw. für Ausführungsformen von Theodoliten neuer und neuester Bauart sowie von Instrumenten älterer Bauart, die in der Formgebung eine deutliche Annäherung an den modernen Typus anstreben.

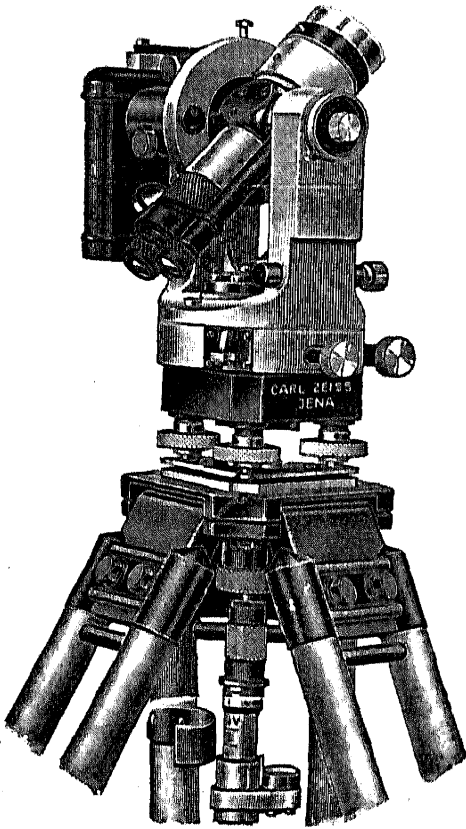



Abb. 101. *(Zeiß.)*

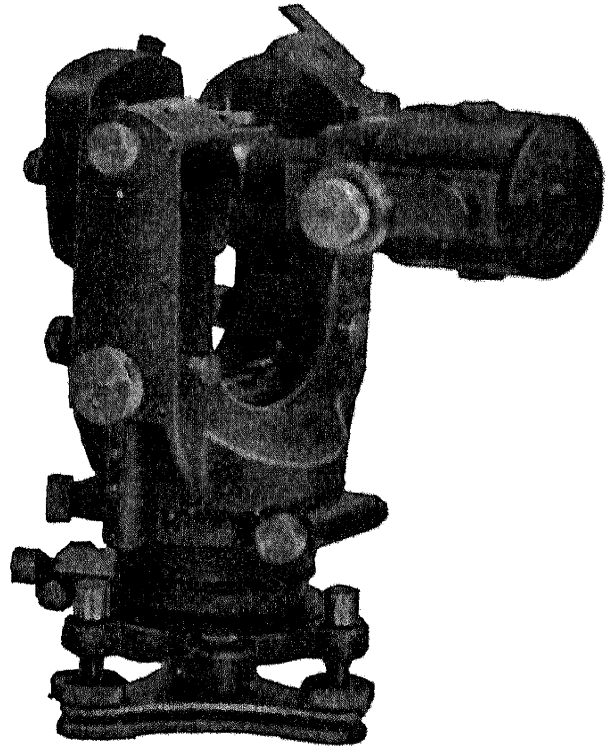



Abb. 102. *(Wild.)*

Abb. 101: Theodolit IV von *Zeiß* mit der eben genannten Zentrierstockzentrierung.

Das Instrument gestattet Zwangszentrierung, denn es kann, ähnlich wie bei Abb. 72 beschrieben, aus dem in der Abb. 101 dunkel erscheinenden Dreifuß ausgehoben und mit einer gleichachsigen Zieleinrichtung vertauscht werden. Rechts knapp ober dem Dreifuß erkennt man die Knöpfe der Klemme und Feinschraube für die Horizontalbewegung und in gleicher Höhe links den Betätigungshebel einer bei einigen *Zeiß*-Theodoliten verwendeten Membran- oder Lamellenkupplung, durch deren Einschaltung sich der Horizontalkreis mit der Alhidade verbindet und mit ihr dreht.

Die Ablesung beider Kreise erfolgt wieder über das neben dem Fokussierfernrohr (Fokussierring) liegende Mikroskop, in dessen Gesichtsfeld gleichzeitig, wegen der mechanisch vorzüglichen Zentrierung der Alhidade, nur eine Stelle des Horizontalkreises *Hz* und nur eine Stelle des Vertikalkreises *V* sichtbar ist. Zur Ablesung dienen Skalen mit Schätzmöglichkeit von 0.1′ bzw. 20cc bei Neugradteilung.

Die Höhenklemmschraube bemerken wir am rechten Fernrohrträger in der Verlängerung der Kippachse.

Als Zusatzgeräte sind zu erwähnen:

Elektrische Beleuchtung [21,2] beider Kreise und regelbare Beleuchtung des Fadenkreuzes (durch Feindrehung eines Spiegelchens in der Kreuzung der Ziel- bzw. Kippachse) mittels ansetzbarer Taschenlampe oder eingebaute schlagwettersichere elektrische Beleuchtung mit einem Akkumulator als Stromquelle,

Aufsetzbare Kreis- oder Röhrenbussole (Abb. 111),

Meßkeil für optische Distanzmessung ([25,243] Abb. 143),

Okularprismen für die Beobachtung und Ablesung bei stark geneigten Zielungen,

Objektivprisma zur Ermöglichung von Zielungen zum Zenit oder Nadir, z. B. bei Schachtlotungen im Bergbau usw.,

Meridiansucher zur raschen Feststellung der Richtung des astronomischen Meridians,

Präzisions - Polygonausrüstung mit zwangszentrierten Zielzeichen usw.

Zufolge schriftlicher Mitteilung der Werke Optik *Carl Zeiß*, Jena, wird ein dem Theodolit IV ähnlicher, sog. „Ingenieurtheodolit" im Laufe des Jahres 1950 erscheinen.

Die von der Verkaufs A. G. *H. Wilds* geodätische Instrumente (Heerbrugg, Schweiz) erzeugte Theodolitreihe, nämlich T 0, T 1, T 2, T 3, T 4, sei durch die beiden nachfolgenden Instrumente gekennzeichnet:

Abb. 102: Repetitionstheodolit T 1 von *Wild*[20a] mit aufgesetztem Präzisionsdistanzmesser [25,244].

Zwischen den beiden sichtbaren Stellschrauben erkennen wir die zur Vorzentrierung dienende Dosenlibelle. Es folgen links die Stichklemme und Feinbewegung für die Limbusbewegung und darüber die Alhidadenklemme. In der gleichen Höhe auf der gegenüberliegenden Instrumentseite befindet sich die Alhidadenfeinschraube. Am vorderen Arm des Fernrohrträgers liegt unten die Trommel für die Bewegung des optischen Mikrometers und darüber, am oberen Ende, die Klemme für Höhenbewegung. Knapp links neben der Mikrometertrommel ist die Höhenfeinschraube und in dem schmalen freien Raum zwischen den beiden Armen des Fernrohrträgers auch noch der Knopf der Schraube für die Einspielung der Versicherungslibelle erkennbar. Der zu ihrer Beobachtung aufgeklappte Spiegel erhebt sich ein wenig über den im Bild rechts befindlichen Arm des Fernrohrträgers.

Am Objektiv des Fernrohrs ist der Körper des Präzisionsdistanzmessers und am Okular das zugehörige Gegengewicht aufgesetzt.

Die Ablesung der Kreise erfolgt in dem neben dem Fernrohr liegenden Mikroskop, dessen Gesichtsfeld einen Doppelfaden, ein Bild des Horizontalkreises *Az*, ein Bild des Höhenkreises *V* und die Teilung des Mikrometers zeigt. Zur Ablesung der ganze Grade aufweisenden Teilung stellt man den dem Doppelstrich zunächst liegenden Gradstrich (Groblesung), durch Bewegung des Mikrometers, zwischen die Fäden. Die gesamte Feinlesung ergibt sich auf der Mikrometerteilung, wobei 0,1′ bzw. 10^{cc} geschätzt werden können. Da die Exzentrizität der Alhidade sehr klein gehalten ist, genügt für die angestrebte Genauigkeit eine einzige Kreisablesung [19,2].

An Stelle der gewöhnlichen Beleuchtung der Kreise, mit einem in der Fernrohrlage I am linken Fernrohrträger befindlichen Spiegel, kann man auch eine Taschenlampe verwenden.

An Zusatzeinrichtungen stehen zur Verfügung:

Optisches Lot, das nach Aushebung des Instrumentes aus dem Dreifuß für Zielungen nach unten (Nadir) und nach oben (Zenit), nämlich für Arbeiten ober und unter Tag, benützbar ist,

Rundbussole [22,3] mit 1°-Teilung zum Aufsetzen auf besondere Haltestücke an den Fernrohrträgern,

Gebrochenes Okular (Okularprisma) für Zenitzielungen,

Objektivprisma zu Zenit- und Nadirzielungen bei geographischer Ortsbestimmung bzw. im Bergbau bei Schachtlotung und unterirdischer Richtungsübertragung,

Distanzkeil bzw. Präzisionsdistanzmesser [25,243], [25,244],

Präzisions-Polygonausrüstung.

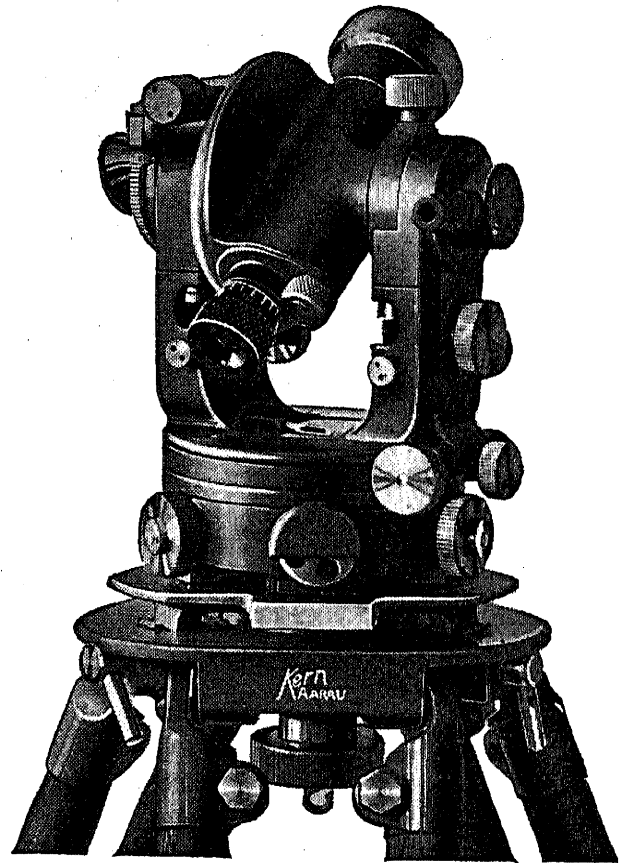
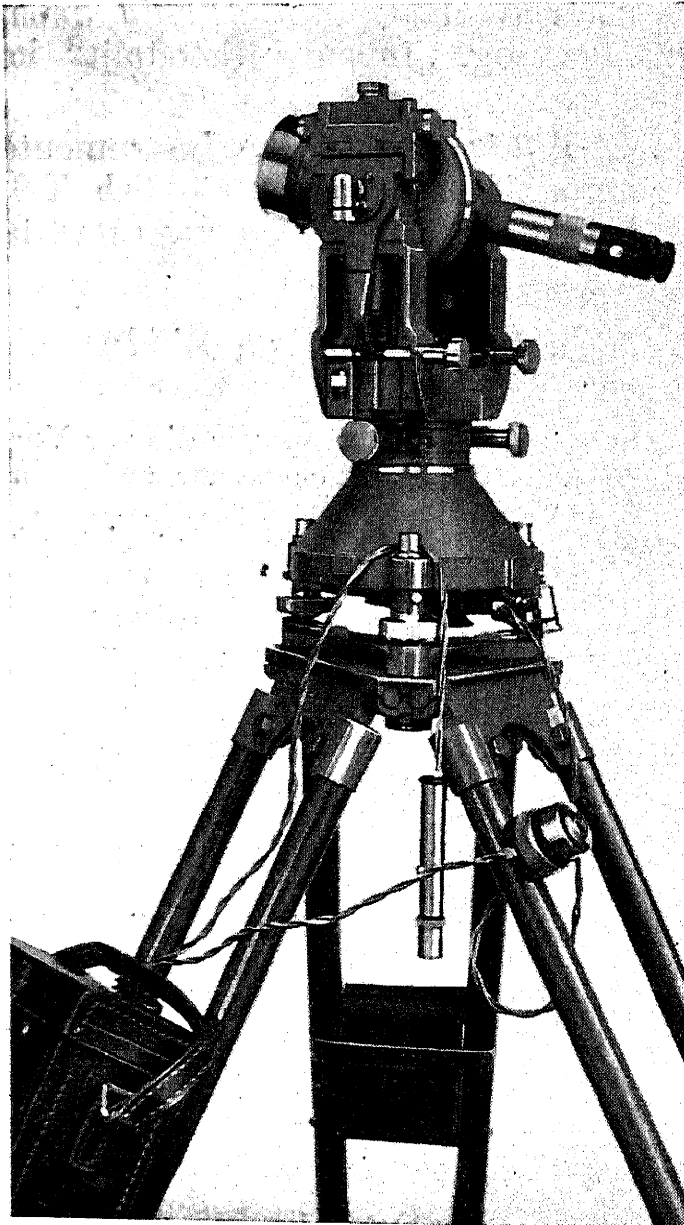



Abb. 103. *(Wild.)*

Abb. 104. *(Kern.)*

Abb. 103: Präzisionstheodolit T 3 von *Wild*.

Dieses mit festeingebautem optischem Lot versehene Instrument für Triangulierungsbeobachtungen I. und II. Ordnung unterscheidet sich äußerlich nur wenig von dem *Wild* Theodolit II (früher Universaltheodolit), dessen an sich schon sehr hohe Ablesegenauigkeit von 1″ ([18,252] Abb. 90 b), er mit einer solchen von 0,1″ beträchtlich überschreitet ([18,252], Abb. 90 d, e).

Die Abbildung zeigt das Instrument mit eingebauter elektrischer Beleuchtung der beiden Kreise und der Leitung mit Akkumulator, Schaltknopf am Stativ sowie gesonderter Handlampe. Das Fernrohr besitzt austauschbare Okulare für 24-, 30- und 40fache Vergrößerung, welch letztere man für astronomische Beobachtungen, im Verein mit Okularprismen bzw. dem zusätzlich verfügbaren Prismenastrolabium verwendet.

Abb. 104: Kleiner Triangulationstheodolit DKM 1 von *Kern & Co. A. G.*

Als hervorstechendste Neuerung bemerken wir den bereits in [18] erwähnten Wegfall der üblichen Stellschrauben, die durch Knöpfe mit horizontaler Achse und Spiralnut ersetzt sind. Im Verein mit dem ebenfalls neuen Kipptellerstativ, das eine sehr rasche Grobhorizontierung zugleich mit der Zentrierung ermöglicht, ergibt sich durch die getrennte Feinhorizontierung mit den drei Stellknöpfen eine sehr rasche Meßbereitschaft.

Das Okular des Mikroskops für die Ablesung der Kreise ist an den rechten Arm des Fernrohrträgers verlegt worden, und der Fokussiertrieb befindet sich nun neben dem Okular des Fernrohrs.

In dem sehr niedrig gewordenen Unterbau wird der Horizontalkreis durch eine verdeckte Triebschraube verstellt.

Die Ablesung der Doppelteilung beider Kreise erfolgt im gemeinsamen Gesichtsfeld mit demselben optischen Mikrometer, u. zw. nach der neuen Art von Mittelfeldeinstellung, die in [18,252] (Abb. 90 f) erläutert wurde. Der Höhenwinkel $\pm \beta$ ergibt sich in der Fernrohrlage I bzw. II mit $90^0 \pm \beta$ bzw. $270^0 \pm \beta$.

Zu sämtlichen DK-Instrumenten der *Kern & Co. A. G.* sind auch jene Zusatzgeräte und -einrichtungen verfügbar, die bei den vorausgehenden Instrumenten aufgezählt worden sind.

Das neueste Instrument aus der Reihe der *Kern*schen DKM-Theodolite ist mit der Bezeichnung DKM 3 für Triangulierungsbeobachtungen im Netz I. und II. Ordnung [20,3] konstruiert worden, mit einem Fokussierfernrohr von 75 mm Objektivdurchmesser und einem Instrumentgewicht von nur 8 kg. Für geographische Ortsbestimmung steht ein neues Universalinstrument zur Verfügung, mit einem Spiegellinsenfernrohr [16,55] von 100 mm Objektivdurchmesser und 80facher Vergrößerung. Die Kreisablesungen ergeben direkt Zehntelsekunden bei einer Schätzungsmöglichkeit von Hundertstelsekunden.

Wir wollen indessen diesen Ausblick auf die in dauerndem Fluß befindliche Entwicklung des modernen Theodolites und die hiezu vorgeführten Beispiele nicht beendigen, ohne der sehr interessanten Form eines Instrumentes zu gedenken, das trotz seiner Eigenart bereits wieder unter die historischen Einzelerscheinungen zu zählen ist. Es handelt sich hier um einen Theodolit, der in bis dahin unbekannter Bauart und nach völlig neuen Grundsätzen, nämlich für direkte Winkelmessung höchster Genauigkeit, und nicht für Richtungsmessung, bei den *Zeiß*-Werken in Jena hauptsächlich nach

Angaben und den Vorschlägen von Prof. Dr. *O. v. Gruber* um 1930 als Versuchsinstrument fertiggestellt worden war[21]. Zwei einzige Instrumente dieser Art wurden im letzten Weltkrieg für die Beobachtung von kurzfristig erscheinenden Zielen in sehr großen Entfernungen im Bereich des Mittelländischen Meeres verwendet.

Neben diesen Instrumenten mit allen nun geläufigen äußeren Kennzeichen der „modernen Bauart" wollen wir an Hand der Abbildung 105 ein Beispiel dafür betrachten, wie sich die sog. ältere Bauart durch gedrängtere Anordnung der Einzelteile, Einführung kompakter Gußstücke, Abdeckung der Kreise und Abschluß der Feinschrauben, Verwendung eines Fokussierfernrohres usw. dem Grundtypus der modernen Bauart äußerlich allmählich annähert.

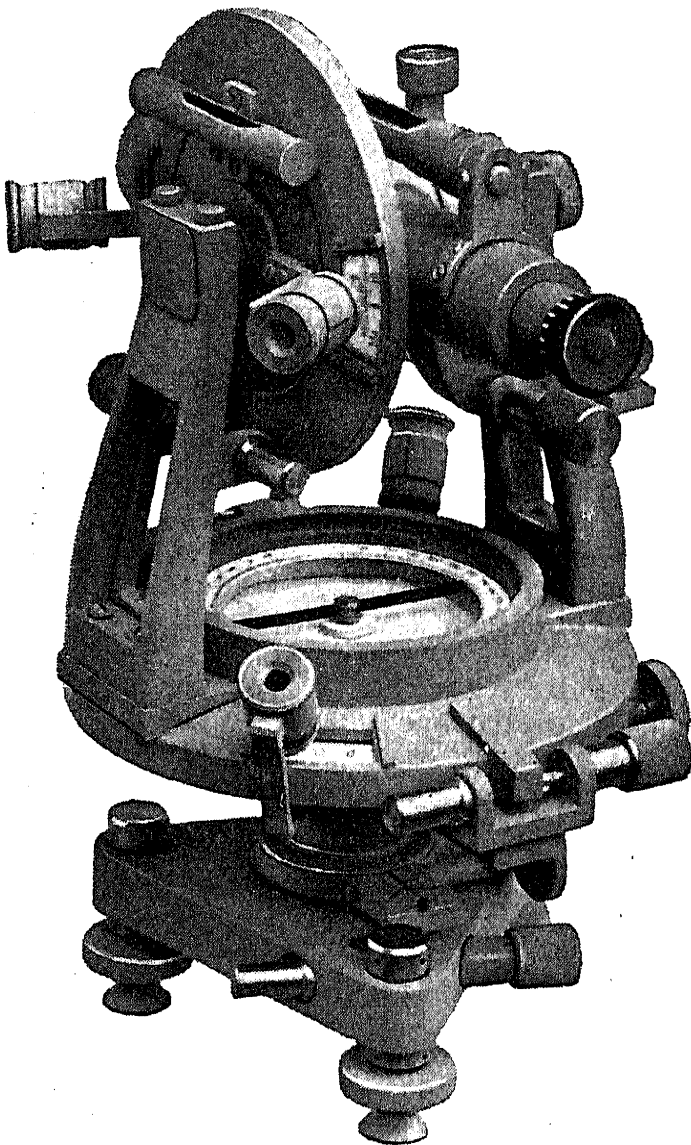
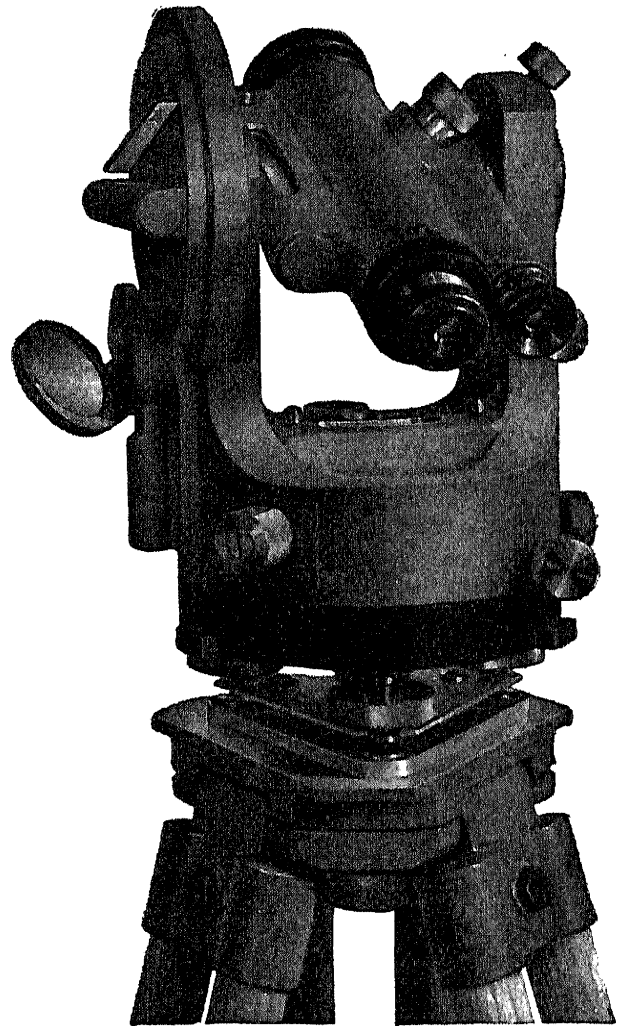



Abb. 105. *(Neuhöfer.)* Abb. 106. *(Miller.)*

Abb. 105: Bussolentheodolit 28 von *Neuhöfer u. Sohn, A. G.*, Wien.

Man erkennt in dem kaum mehr als Dreifuß zu bezeichnenden Unterbau die Limbusfeinschraube und knapp darüber die nur noch ein wenig sichtbare Limbusringklemme, darüber die auf einen Fortsatz des Kreisverdecks wirkende Alhidadenfeinschraube und noch den Knopf der Alhidadenringklemme. Die Nonien mit einer Angabe von 20″ bzw. 50cc sind schräg gegen die Zielrichtung angeordnet, und zwischen den sehr kräftig gebauten Armen des Fernrohrträgers liegt die Vollkreisbussole mit einer Balkennadel von 75 mm Länge [22,3].

Am rechten Arm des Fernrohrträgers befindet sich die Klemme und Feinschraube für die Höhenbewegung. Die Fokussierlinse des Fernrohres wird mit einer Triebschraube verschoben, deren Knopf man als Verlängerung der Kippachse im Bilde knapp rechts neben der Nivellierlibelle des Fernrohrs erblickt. Für die Einspielung der Versicherungslibelle zu den beiden Nonien des Vertikalkreises ist die unter seinen Lupen sichtbare Feinschraube vorgesehen. Eine der beiden Alhidadenlibellen wird durch den linken Arm des Fernrohrträgers fast verdeckt, und von der anderen, am rechten Arm angebrachten, ist nur mehr ein Ende knapp neben dem Fernrohrokular zu sehen.

Einen noch viel weitgehenderen Übergang zur „modernen Bauart“ finden wir bei zahllosen Instrumenten, wohl wesentlich als ein Zeichen dafür, wie sehr sich jene Erfindungen und Konstruktionen bewährt haben, die letzten Endes samt und sonders auf die Leistungen von Dr. h. c. *H. Wild* zurückgehen. Es muß zwar in jeder Beziehung merkwürdig erscheinen, daß alle diese Neuerungen nicht einzig und ausschließlich den Namen des Erfinders *Wild* als Kennzeichen ihrer Eigenart tragen, so wie es bei ähnlichen bahnbrechenden Umwälzungen im Gebiete jeder theoretischen oder praktischen Wissenschaft früher eine nicht wegzudenkende Gepflogenheit war. Doch mag es wohl so sein, daß die weltbekannte untrennbare Verbundenheit des Namens *Wild* mit der Entwicklung der als „modern“ bezeichneten Instrumentenformen, diese Gepflogenheit vergessen ließ und dazu geführt hat, die *Wild*schen Gedanken und Konstruktionen so selbstverständlich als Allgemeingut anzusehen, aber auch zu benutzen, wie dies allmählich bei allen Großleistungen menschlichen Geistes eintritt.

Wenn daher im Rahmen dieses Buches für die eigentlich als *Wild*-Konstruktion zu bezeichnende Bauart irgendeines Instrumentes die Benennung „moderne Bauart“ gewählt worden ist, so war der Grund hiefür lediglich in der Notwendigkeit begründet, die Erzeugnisse derjenigen Werke auseinanderzuhalten, die ihren weltweiten Ruf primär dem genialen Konstrukteur *Wild* verdanken, nämlich *Zeiß, Wild* (Heerbrugg, Schweiz) und *Kern* (Aarau, Schweiz), wo Dr. h. c. *H. Wild* seinerzeit arbeitete oder derzeit wirkt.

Als ein einziges Beispiel für die im großen und im einzelnen stattfindende Annahme *Wild*scher Konstruktionsgrundsätze zu einem Theodolit moderner Bauart, mit im übrigen durchaus eigenartigselbständiger Ausbildung und Formgebung, diene das neueste, in der Abb. 106 gezeigte Erzeugnis eines österreichischen feinmechanischen Institutes.

Abb. 106: Neuer volloptischer Repetitionstheodolit TIV der *Gebrüder Miller, G. m. b. H.*, Innsbruck.

Das Repetitionsachsensystem besteht aus zwei voneinander völlig unabhängigen zylindrischen Achsen mit einer einzigen Klemm- und Feinschraube, die am abgeschlossenen Theodolitkörper unten rechts sichtbar sind. Unter dem linken Arm des Fernrohrträgers befindet sich der Schaltknopf für die Mitnahme des Kreises bei Repetition.

Die Teilungen beider, über den links aufgeklappten Spiegel beleuchteten Glaskreise werden in einem gemeinsamen Mikroskop abgelesen, das neben dem anallaktischen Fokussierfernrohr liegt und die Schätzung von je 0,1′ ermöglicht.

Die Triebschraube der Fokussierlinse und die Höhenklemme sind schräg angeordnet. Mit einem zusätzlichen Okularprisma ist das lotrecht gestellte Fernrohr als optisches Lot verwendbar, und die neben dem Fernrohr angeordnete Nivellierlibelle kann mit einem *Wild*-Prismensystem für Koinzidenzeinstellung der Blasenenden [26,5] versehen werden. Als Zusatzausrüstungen sind solche für Polygonmessung mit Zwangszentrierung, für Markscheider sowie für Streckenmessung mit Basismeßschraube und 2-m-Basislatte [25,11] verfügbar.

20,1 Einfache Winkelmessung

Ist der Theodolit im Standpunkt P meßgerecht aufgestellt, dann wird der Winkel zwischen dem linken bzw. rechten Zielpunkt L bzw. R durch den folgenden schematisch angedeuteten Vorgang gemessen.

Fernrohrlage I (normal).

1. Zielung L, Ablesung links und rechts, zentriertes Mittel: L_I,
2. Zielung R, Ablesung links und rechts, zentriertes Mittel: R_I,

Durchschlagen in

Fernrohrlage II (verkehrt).

3. Zielung R, Ablesung links und rechts, zentriertes Mittel: R_{II},
4. Zielung L, Ablesung links und rechts, zentriertes Mittel: L_{II}.

Die Ablesungen kann man in der Art des folgenden Beispieles anschreiben, das etwa der Benützung eines Theodolites mit Skalenmikroskopen bei Schätzung von 0,1′ entspricht ([18,241] Abb. 84 a).

SICHT		I FRL II						ZENTRIERTES MITTEL				MITTEL (REDUZIERTE RICHTUNG)
von	nach	Lesung links Lesung rechts			Lesung links Lesung rechts			I		II		
1	2	3			4			5		6		7
P	L	87	37	36	87	37	12	37	42	37	18	87 37 30
		267	37	48	267	37	24					(0 00 00)
	R	173	51	36	173	51	06	51	36	51	18	173 51 27
		353	51	36	353	51	30					(86 13 57)

Die Ausrechnung der zentrierten Mittel soll mit dem Fortgang der Beobachtung Schritt halten, so daß nach Ausfüllung der Spalte 3 für Ziel L sogleich in die Spalte 5 das zugehörige zentrierte Mittel einzusetzen ist.

Im Sinne des angegebenen Beobachtungsschemas folgt die Spalte 3 für Ziel R mit der Berechnung des zentrierten Mittels in der Spalte 5. Nach dem Durchschlagen in die Fernrohrlage II wird zuerst für das Ziel R, dann für Ziel L die Spalte 4 bzw. 6 ausgefüllt. Die zentrierten Mittel vereinigt man für jedes Ziel zum Mittelwert der letzten Spalte 7.

Bringen wir das Ziel L auf die reduzierte Richtung $0^\circ\ 0'\ 0''$, so gibt der entsprechende Wert für R zugleich den einmal in beiden Fernrohrlagen gemessenen Winkel zwischen den beiden Zielen an.

Bei Theodoliten mit automatischer Zentrierung der Ablesungen durch Herbeiführung der Teilungskoinzidenz mit einem optischen Mikrometer [18,252], sind nur die Felder für das zentrierte Mittel auszufüllen.

Von einer Vorbringung der verschiedenen möglichen Proben für die Richtigkeit der Mittelbildungen wird hier abgesehen[22].

Verfolgt man an Hand der Hinweise von [19] die Wirkung der einzelnen Instrumentalfehler und ihre Ausschaltung durch die Mittelbildung, so erkennen wir, daß in den Endwerten der letzten Spalte der vorigen Tabelle noch enthalten sind: der Einfluß des Stehachsenfehlers sowie die Teilungs- und Beobachtungsfehler, die sich aus Ziel- und Ablesungsfehlern zusammensetzen [20,6].

Zur Herabsetzung bzw. wahrscheinlichsten Ausschaltung ihrer Wirkung verbleibt nur ein Weg: die Wiederholung der Messung mit gleicher Sorgfalt, zweckentsprechender Veränderung der Kreislage und völlig neuer Lotrechtstellung der Alhidadenachse.

Bei Instrumenten mit verstellbarem Kreis beginnt man die erste Beobachtung des Zieles L in der Fernrohrlage I mit der Ablesung von 0° und einigen wenigen Bogenminuten.

Sind n Einzelbeobachtungen des Winkels vorgesehen, so wird vor jeder Wiederholung die Stehachse neu lotrecht gerichtet, dann bei der ersten Wiederholung die Alhidade verdreht, bis die Ablesung links einige Minuten mehr als $180^\circ : n$ ergibt. Mit geklemmter Alhidade stellt man das Ziel L nur über Limbusklemme und -feinbewegung ein und beobachtet danach wie oben. Für jede weitere Wiederholung ist die Anfangslesung immer auf das entsprechende Vielfache von $180^\circ : n$ zu bringen.

Zur bestmöglichen Ausschaltung der Schraubenfehler, bei sehr genauen Messungen, wird auch die Ausgangsstellung der Meßschraube um den n-ten Teil des wirksamen Schraubenbereiches bei jeder Wiederholung vermehrt. Das bei den Triangulierungsarbeiten des öster-

reichischen Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in Gebrauch stehende Verfahren, muß im Bedarfsfall der bereits erwähnten Dienstvorschrift Nr. 3 dieses Amtes entnommen werden[23].

Bei älteren Mikroskoptheodoliten ohne Repetitionseinrichtung kann die geforderte Anfangslesung eingestellt werden, indem man den durch Reibung haftenden Kreis von Hand aus unter der geklemmten Alhidade verdreht.

Die Theodolite von *Zeiß, Wild* u. a. besitzen Einrichtungen zur Verstellung des Kreises durch eine seitliche Triebschraube mit Sicherung gegen unabsichtliche Betätigung (Abb. 72).

Einige Formen von *Zeiß*-Theodoliten wurden auch mit einer neuartigen Lamellenkupplung versehen, durch deren Einschaltung sich der Kreis mit der Alhidade verbindet und mit ihr gleichzeitig dreht.

Einen einfachen Theodolit mit festem Limbus wird man, dem Augenmaß nach, am Stativteller um den erforderlichen Winkelbetrag verdrehen und nachher nochmals über dem Bodenpunkt zentrieren.

20,2 Repetitionswinkelmessung

Dieses derzeit kaum mehr, früher aber recht häufig verwendete Verfahren, ermöglicht die schärfere Messung von Einzelwinkeln, und zwar auch mit Instrumenten, deren Ablesegenauigkeit verhältnismäßig gering ist.

Da bei der Abwicklung des nachfolgend schematisch angegebenen Beobachtungsvorganges das Instrument abwechselnd um seine Limbus- bzw. Alhidadenachse gedreht wird, die kaum je völlig scharf zusammenfallen [19,1], ist es günstig, nicht die letztere, sondern die Limbusachse lotrecht zu richten. Zu diesem Zweck läßt man die Alhidadenlibellen wie gewöhnlich einspielen, dreht aber nun (bei geklemmter Alhidade) den Limbus samt der mit ihm verbundenen Alhidade um die Limbusachse um 180° und berichtigt die Normalstellung der Spielpunkttangenten zur Limbusachse. Wir werden noch erkennen, daß dann der Einfluß des vorhandenen Stehachsenfehlers, durch entsprechende Wahl der Repetitionszahl, ausschaltbar ist, was sonst bei keinem anderen Verfahren eintritt.

Bezeichnet man wieder Zielpunkte links bzw. rechts mit L bzw. R, dann ergibt sich das folgende Beobachtungsschema für die p-malige Repetition des Winkels $\alpha = R - L$.

Hingang in Fernrohrlage I (normal).

1. Alhidade auf Anfangslesung links 0° und wenige Minuten einstellen,
2. Limbusachse (nicht Alhidadenachse) lotrecht stellen,
3. Ziel L mit Limbusfeinbewegung einstellen, Ablesung links und rechts, zentriertes Mittel L_I bilden,

4. Ziel R durch Alhidadendrehung einstellen, ungefähre Ablesung links (d. h. Rohwert für R_I') notieren,

Erste Repetition:

5. Ziel L durch Limbusentklemmung, -drehung, -feineinstellung anzielen, nicht ablesen,
6. Ziel R durch Alhidadenentklemmung, -drehung, -feineinstellung anzielen, nicht ablesen.

Zweite Repetition: wie erste Repetition, usf.

p. Repetition: wie erste Repetition, jedoch für das Schlußziel R: Ablesung links und rechts und Bildung des zentrierten Mittels $(p\,R^I)$.

Durchschlagen des Fernrohres und Rückgang in der Fernrohrlage II (verkehrt).

7. Ziel R mit Alhidade einstellen, Ablesung links und rechts und Bildung des zentrierten Mittels $(p\,R_{II})$,
8. Ziel L mit Alhidade einstellen, nicht ablesen,

Erste Gegenrepetition:

9. Ziel R durch Limbusentklemmung, -drehung, -feineinstellung anzielen, nicht ablesen,
10. Ziel L durch Alhidadenentklemmung, -drehung, -feineinstellung anzielen, nicht ablesen,

Zweite Gegenrepetition: wie erste Gegenrepetition,

p. Gegenrepetition: wie erste Gegenrepetition, jedoch für das Schlußziel L: Ablesung links und rechts und Bildung des zentrierten Mittels L_{II}.

Zur Ausrechnung bildet man die Mittelwerte

$$L = \frac{L_I + L_{II}}{2}, \qquad (pR) = \frac{(pR_I) + (pR_{II})}{2},$$

erhält vorerst den p-fachen Gesamtwinkel

$$(pa) = (pR) - \mathrm{L}$$

und als Ergebnis den p-mal repetierten Einzelwinkel

$$a_p = \frac{(pa)}{p}.$$

Zur Bestimmung eines roh genäherten Wertes $a' = R_I' - L_I$ wurde die ungefähre Ablesung R_I' bei Punkt 4. des Schemas ausgeführt.

Die Niederschrift der Ablesungen und die weitere Ausrechnung kann nach Art des folgenden Beispieles geschehen, das der Verwen-

dung eines Theodolites mit 0,1′-Schätzmikroskopen entspricht ([18,241] Abb. 84 a) und ohne Erläuterung verständlich sein wird.

SICHT		I FRL II						ZENTRIERTES MITTEL				MITTEL
von	nach	Lesung links Lesung rechts			Lesung links Lesung rechts			I		II		(REDUZIERTE RICHTUNG)
1	2	3			4			5		6		7
	L	0 180	02 02	24 36	0 180	01 02	54 12	02	30	02	03	0 02 15,5 (0 00 00)
P	(R_I')	(86	16	30)								
($p=$ 4)	R	344 164	58 57	06 54	344 164	57 57	36 36	58	00	57	36	344 57 48 (344 55 32,5) = ($p\alpha$) 86 13 53,1 = α_p

Hinsichtlich der eingangs erwähnten Tilgung der Wirkung eines Nichtzusammenfallens der Alhidaden- mit der Limbusachse beachten wir, daß die Lotrechtstellung der letzteren bei jener beispielsweise eine Neigung v erzeugt, so daß die Alhidadenachse während des geschilderten Beobachtungsvorganges einen Kegelmantel entsprechender Öffnung um die Lotlinie der Limbusachse beschreiben wird. Mit Benützung der Formel (6) von [19,4] erhält man den Einfluß des Stehachsenfehlers v auf den Einzelwinkel aus

$$E_{S_\alpha} = -v \left\{\sin \omega_R' \operatorname{tg} \beta_R - \sin \omega_L' \operatorname{tg} \beta_L\right\}.$$

Übertragen wir dies sinngemäß auf den Meßvorgang, so ergibt sich wegen der bei jeder Repetition eintretenden Fortdrehung der Stelle größten Klaffens [19,4] als Einfluß für den p-fach repetierten Winkel $(p\alpha)$ die Summe

$$\begin{aligned} E_{S_{(p\alpha)}} = & -v \left\{\sin \omega_R' \operatorname{tg} \beta_R - \sin \omega_L' \operatorname{tg} \beta_L\right\} - \\ & -v \left\{\sin (\omega_R' + \alpha) \operatorname{tg} \beta_R - \sin (\omega_L' + \alpha) \operatorname{tg} \beta_L\right\} - \dots\dots\dots\dots \\ & \dots \\ & -v \left\{\sin [\omega_R' + (p-1)\,\alpha] \operatorname{tg} \beta_R - \sin [\omega_L' + (p-1)\,\alpha] \operatorname{tg} \beta_L\right\}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{S_{(p\alpha)}} = & -v \operatorname{tg} \beta_R \left\{\sin \omega_R' \sum_{i=0}^{i=p-1} \cos i\,\alpha + \cos \omega_R' \sum_{i=0}^{i=p-1} \sin i\,\alpha\right\} + \\ & + v \operatorname{tg} \beta_L \left\{\sin \omega_L' \sum_{i=0}^{i=p-1} \cos i\,\alpha + \cos \omega_L' \sum_{i=0}^{i=p-1} \sin i\,\alpha\right\}. \end{aligned}$$

Wählt man die Anzahl p der Repetitionen derart, daß $p\alpha = 360^0$, so entsteht

$$\sum_{i=0}^{i=p-1} \cos i\,\alpha = 0, \qquad \sum_{i=0}^{i=p-1} \sin i\,\alpha = 0,$$

und wir sehen es bestätigt, daß dann im p-fach repetierten Winkel $(p\alpha)$ der Einfluß des Stehachsenfehlers verschwindet[24].

Im vorigen Beispiel für die Anschreibung der Beobachtungen war, zufolge des Rohwertes $\alpha' \doteq 86^0\, 14'$, der zur Erfüllung der Be-

dingung $p\alpha = 360^0$ nächstliegende und ganzzahlige Wert $p = 4$ anzunehmen.

Zur Berücksichtigung der Teilungsfehler müßten bei beabsichtigten n-Wiederholungen die Ausgangsablesungen auf die entsprechenden Vielfachen von $\frac{180^0}{n}$ verlegt werden.

Hinsichtlich der Genauigkeit der Winkelmessung durch Repetition wird auf [20,6] verwiesen.

20,3 Satzweise Richtungsmessungen

Dieses Verfahren steht derzeit fast ausschließlich bei allen Triangulierungsbeobachtungen von der V. bis II. Ordnung in Gebrauch.

Die Ordnung einer Triangulierung ist wesentlich gegeben durch den Zusammenhang der neu zu bestimmenden Punkte mit den koordinatenmäßig gegebenen Punkten (*TP*) des bereits vorliegenden Dreiecknetzes [I Abschnitt K].

Wenngleich eine feste Regel hinsichtlich der Ordnungszahl einer Triangulierung und der in ihr vorkommenden Entfernungen der neuen Punkte von den gegebenen *TP* nicht genannt werden kann, so ist, entsprechend den Festsetzungen in der schon mehrfach genannten[25] Dienstvorschrift Nr. 3 des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen, etwa die folgende Abgrenzung derzeit in Geltung.

Die Dreiecke des Netzes I. Ordnung der Österreichisch-Ungarischen Monarchie mit ihren früher üblichen großen Seitenlängen von 50 und mehr Kilometern wurden im Bundesstaat Österreich, zur Erleichterung der Beobachtungen, durch Einschaltung neuer *TP* I. O. verkleinert. Im Mittel ergeben sich nun Seitenlängen von höchstens 40 km, die im Hochgebirgsteil Österreichs bis auf 20 km sinken.

Das Netz II. O. wird von den Punkten gebildet, die unmittelbar aus den Dreiecken I. O. abgeleitet sind. Die Länge einer Netzseite II. O. soll 20 km nicht überschreiten.

Durch fortgesetzte Punkteinschaltung [II 21] in das Netz II. O. entsteht das Netz der Punkte III. O., von denen durchschnittlich 2 auf eine Fläche von 100 km^2 entfallen, so daß die mittlere Länge einer Netzseite III. O. ungefähr 10 km betragen wird.

Das Netz IV. O., als Grundlage der topographischen Landesaufnahme, ergibt sich durch Einschaltung weiterer *TP* in das Netz III. O., bei Entfernungen bis zu 3 km, wobei ein Punkt IV. O. auf etwa 6 km^2 entfällt.

In ähnlicher Weise wird das Netz V. O. aus dem der IV. O. entwickelt. Die Punktdichte hängt hier wesentlich vom Zweck der

späteren Detailaufnahme ab und ist in übersichtlichem Gelände mit etwa einem, u. U. aber auch mehreren Punkten pro 1 km² anzunehmen, [I, Abschnitt *L*].

Die zur Berechnung der Punkteinschaltungen notwendigen Richtungsangaben sind durch Messung von Richtungssätzen zu ermitteln, in denen die Gesamtheit aller erforderlichen Strahlen nach den Zielpunkten *A, B, C*, ... zusammengefaßt wird.

Der Beobachtungsvorgang bei der Messung eines Richtungssatzes ist nachfolgend schematisch angegeben.

1. Meßgerechte Aufstellung des Theodolites.
2. Auswahl jenes Zielpunktes, der während der ganzen Dauer der Beobachtungen am besten und gleichmäßig gut sichtbar bleiben wird. (Am Morgen sind dies im allgemeinen meist Ziele im Westen, tagsüber im Norden, abends im Osten.)
3. Aufsuchung aller Ziele, die im Richtungssatz vereinigt werden sollen, und Merken von Hilfspunkten im Gelände bzw. Niederschrift genähert ermittelter Richtungswerte zur raschen Auffindung der Ziele während der Messungen.
4. In Fernrohrlage I: Einstellung des gewählten Anfangszieles bei Ablesung links: Null Grad und wenige Bogenminuten. Ablesung links und rechts, Bildung des zentrierten Mittels. Beobachtung aller im Sinne des Uhrzeigers folgenden Zielpunkte bei jedesmaliger Ablesung links und rechts und Berechnung der zentrierten Mittel. Am Schluß wird neuerlich das Anfangsziel beobachtet. Damit ist der Hingang des Satzes beendet.
5. Nach Durchschlagen des Fernrohrs in die Lage II folgt der Rückgang der Messung. Er beginnt mit der Einstellung des Anfangszieles, den entsprechenden Ablesungen usw., schreitet aber nun entgegen dem Uhrzeigersinn über sämtliche Ziele fort und endet wieder mit der Einstellung des Anfangszieles.
6. Die zentrierten Mittel der beiden Ablesungen für jede Zieleinstellung und die Mittel der Ergebnisse in den Fernrohrlagen I, II sollen fortlaufend berechnet werden. Bei Beendigung des Richtungssatzes und nach der letzten Anschreibung ist dann sogleich der Satzschluß feststellbar, als Unterschied der beiden Mittelwerte des Anfangszieles.

Dieser Satzschluß darf (nach der Dienstanweisung[26] des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen) im Netz II. O. eine, im Netz III. O. zwei und im Netz IV. bzw. V. O. drei Altsekunden nicht übersteigen.

Zur bestmöglichen Tilgung der Kreisteilungs- und Schraubenfehler bzw. des Vergrößerungsfehlers der Mikroskope, ist bei beabsichtigten n-Richtungssätzen für jeden weiteren Satz der Horizontalkreis um $(180^\circ + a) : n$ zu verdrehen, wo a das kleinste Intervall seiner Teilung bedeutet.

Vor Beginn jeder Satzwiederholung ist die Stehachse des Instrumentes neu lotrecht zu stellen.

Die Anschreibung und Ausrechnung für das folgende Beispiel wird ohne Erläuterung verständlich sein. Es betrifft den ersten Richtungssatz für die Ziele *A, B, C*, von denen *B* als Anfangsziel (Einstellrichtung) gewählt wurde, und zeigt einen Satzschluß von + 2″. Hinsichtlich der schließlichen Ausgleichung von *n* derartigen Sätzen ist auf [II 21] zu verweisen[27].

SICHT		I FRL II						ZENTRIERTES MITTEL				MITTEL
von	nach	Lesung links Lesung rechts			Lesung links Lesung rechts			I		II		(REDUZIERTE RICHTUNG)
1	2	3			4			5		6		7
P	*B*	0 180	02 02	43 49	0 180	02 02	47 51	02	46,0	02	49,0	0 02 47,5 (0 00 00,0)
	C	86 266	42 42	18 23	86 266	42 42	17 26	42	20,5	42	21,5	86 42 21,0 (86 39 33,5)
	A	192 12	18 18	40 43	192 12	18 18	44 46	18	41,5	18	45,0	192 18 43,3 (192 15 55,8)
	B	0 180	02 02	44 52	0 180	02 02	48 54	02	48,0	02	51,0	0 02 49,5 (+2,0)

Entsprechend der im vorigen Schema gegebenen Aufeinanderfolge der Beobachtungen entstehen zuerst, von oben nach unten, die Ablesungen der Spalte 3 und gleichzeitig, durch Ausrechnung, die zentrierten Mittel der Spalte 5. Darauf folgen, von unten nach oben, die Ablesungen der Spalte 4 und gleichzeitig, durch Ausrechnung, die zentrierten Mittel der Spalte 6. Während die Beobachtungen noch fortschreiten, kann schon immer das Mittel für jede in beiden Fernrohrlagen beobachtete Richtung in die Spalte 7 eingetragen werden, so daß, entsprechend dem Punkt 6 des Schemas, am Ende des Satzes auch sein Abschluß bekannt ist.

Bei Benützung von Theodoliten mit Ablesung der durch ein optisches Mikrometer gebildeten zentrierten Mittel werden die Winkelgrade in den Spalten 3 bzw. 4 die beobachteten ′, ″ aber sogleich als zentriertes Mittel, d. h. in den Spalten 5 bzw. 6 angeschrieben.

20,4 Winkelmessung in allen Kombinationen und Winkelmessung nach dem Sektorenverfahren

Die Winkelmessung in allen Kombinationen nach dem Verfahren von General *Schreiber* wird nur im Netz I. O., die sektorenweise Beobachtung wohl auch im Netze I. O. (Schweiz), zumeist aber im Netze II. und III. O. angewendet.

Beim ersteren Verfahren ist jeder von den zwischen s Richtungen I. O. möglichen $\frac{s(s-1)}{2}$ Winkeln für sich allein, satzweise

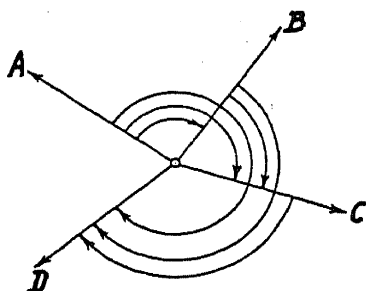



Abb. 107.

und gleich oft zu messen (Abb. 107). Da die eindeutige Lösung der Aufgabe nur die Angabe von $(s-1)$ Winkeln erfordert, ergeben sich $\frac{(s-1)(s-2)}{2}$ Widersprüche. Ihre Tilgung durch Ausgleichung[28] erzeugt gleich genaue Winkel, die man schließlich in Form eines Richtungssatzes zusammenstellt.

Für weitergehende Kenntnis dieses Verfahrens muß bei Bedarf einschlägige Literatur herangezogen werden, wo man alle notwendigen Einzelheiten, Beobachtungspläne[29] usw. vorfindet.

Es ist indessen darauf hinzuweisen, daß die 1878 entwickelte Methode der Winkelmessung in allen Kombinationen in dem damals wohl berechtigten Bestreben begründet war, die noch recht beträchtlichen Kreisteilungsfehler im möglichsten Ausmaß unschädlich zu machen. Beachtet man jedoch die kaum mehr zu überbietende Teilungs- und Ablesungsgenauigkeit moderner Triangulationstheodolite [20] und die mit ihnen erreichbare Zeitersparnis, so drängt sich die Gewißheit auf, daß die Aufgebung eines mit Pietät verwendeten, aber eben historisch gewordenen Verfahrens durchaus in die Bestrebungen und den Rahmen einer modernen Geodäsie passen würde. Unter Ausnutzung des fast vollständigen Wegfalls früher maßgeblicher instrumentaler Fehlerursachen wäre ihr die Möglichkeit geboten, als Naturwissenschaft zu wirken und den Einfluß jener äußeren Fehlerquellen zu erforschen, die vormals von solchen instrumentaler Art weitaus überdeckt waren.

Freilich setzt eine solche Entscheidung voraus, daß die zum Entschluß notwendigen, immerhin noch recht kostspieligen Instrumente zur Verfügung stehen, wie etwa in der Schweiz, wo man die Winkelmessung in allen Kombinationen nicht mehr anwendet und durch zweckmäßigere Verfahren ersetzt hat.

In diesem Zusammenhang sei auch die folgende Meinung von

Dr. h. c. *H. Wild* zitiert, die das Ergebnis einer reichen Erfahrung als Beobachter darstellt.

„Daß diese Methode der Winkelmessung in allen Kombinationen volle 60 Jahre angewendet und damit eine Zeitverschwendung großen Stils getrieben wurde, fällt in erster Linie zu Lasten der sog. großen Literatur und der dadurch beeinflußten Instruktion der jungen Geodäten. Die altmodische und zum Teil ungenügende Instrumentenkunde, die durch die Literatur vermittelt wird, trägt auch im wesentlichen Maße die Verantwortung, daß so viel wertvolle Zeit von Amateurerfindern verlorengeht.“[30]

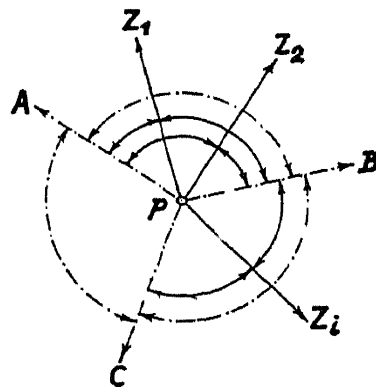



Abb. 108.

Bei dem in der Schweiz um 1904 von dem damaligen Triangulator *H. Wild* erdachten Sektorenverfahren[31] (Abb. 108) wird die Gesamtheit aller Richtungen durch r Hauptrichtungen A, B, .. in r Sektoren abgeteilt, in denen man alle Zwischenrichtungen durch Messung von 2 Winkeln auf die Hauptrichtungen des betreffenden Sektors bezieht. Die Ausgleichung der mit höherem Gewicht [II 16] beobachteten Hauptrichtungen liefert dann den Rahmen für die Einrechnung der Zwischenrichtung[32].

20,5 Exzentrische Richtungs- und Winkelmessung

Wenn die zentrische Aufstellung des Instrumentes über dem Scheitel der gesuchten Winkel unmöglich ist (Kirchturm) oder einzelne Zielpunkte vom Zentrum aus nicht sichtbar sind, müssen die Beobachtungen in einem geeignet gewählten exzentrischen Standpunkt ausgeführt werden und sind nachher rechnerisch auf das Zentrum zu reduzieren (zentrieren). Diese Rechnung erfordert, daß im exzentrischen Standpunkt P' auch die Richtung φ_P' und die Entfernung E zum Zentrum P gemessen wird (Abb. 109).

Vorgang: In P' beobachtet man zuerst die vorgeschriebenen Richtungssätze [20,3]. Nach Beendigung jedes dieser Sätze

(mindestens aber bei einem, z. B. dem letzten Richtungssatz) ist auch die Richtung φ_P' zum Zentrum P in beiden Fernrohrlagen anzuschließen.

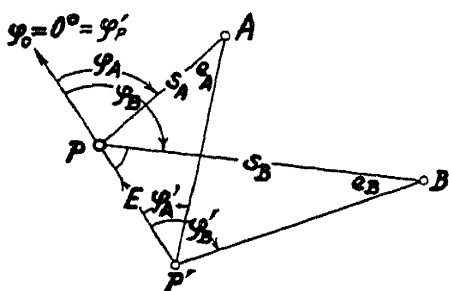
Immer erst nach der Ausgleichung aller gemessenen Sätze wird die Richtung zum Zentrum in überlegt richtiger Weise dem Ergebnissatz angefügt und dieser dann so verdreht, daß die Richtung zum Zentrum den Wert $\varphi_P' = 0$ erhält. Aus diesem exzentrischen Satz mit den Richtungen φ_i' (Abb. 109) erhält man den zentrischen Satz mit den Richtungen φ_i durch Zufügung der Reduktionsbeträge e_i, nämlich $\varphi_i = \varphi_i' + e_i$.

Abb. 109.

Aus der Abb. 109 liest man ab

$$E : s_i = \sin e_i : \sin \varphi_i',$$

und bei hinreichender Kleinheit der Exzentrizität darf man auch rechnen nach

$$e_i'' = \frac{E}{s_i} \varrho'' \sin \varphi_i'.$$

Eine hier angeschlossene Betrachtung der Fehlereinflüsse ergibt:

1. Die Exzentrizität E ist stets so genau als möglich zu ermitteln. Soll der nach obiger Formel berechnete Wert von e_i auf 0,1″ sicher sein, dann muß für eine Seite $s_i \doteq 2$ km, der Betrag E auf Millimeter genau bestimmt werden.

2. Die Richtung φ_P' zum Zentrum kann man, insbesonders bei nur kleiner Exzentrizität, durch ungefähre Zielung, d. h. auch über das Fernrohr (mit Kimme und Korn), einbeziehen.

3. Die erforderlichen Seitenlängen s_i sind aus vorläufigen Berechnungen zu entnehmen. Unter Umständen ist später eine nochmalige Reduktion mit genaueren Werten s_i notwendig.

In manchen Fällen muß der Betrag der Exzentrizität indirekt bestimmt werden, u. zw. durch zweckentsprechende Entwicklung einer kleinen trigonometrischen Verbindung des Zentrums P mit dem oder mehreren exzentrischen Standpunkten P'. Die hiefür notwendige Basis ist entweder direkt [24,0] oder mittelbar [25,11] zu messen.

Wenn etwa das Zentrum P in der Knaufmitte eines Kirchturmes liegt oder im Durchstoßpunkt der Kreuzstange mit dem Turmknauf, dann ist P zufolge der Knaufgröße entweder nicht eindeutig bezeichnet oder wegen der steilen und kurzen Zielung oft durch den Knaufrand verdeckt. In diesem Fall wird man den Schnittpunkt des Fadenkreuzes in der gleichen Höhenlage des Fernrohres auf den linken und rechten Rand des Knaufumrisses einstellen, dies bei wenig verschiedenen Fernrohrneigungen wiederholen und die Beobachtungsergebnisse mitteln.

20,6 Genauigkeit der Richtungs- und Winkelmessung

Wir erkennen, daß im Zuge der genannten Beobachtungsverfahren folgende hauptsächlichen Fehlerquellen auftreten werden.

1. Zentrierfehler des Instrumentes und der Signale. Ein linearer Zentrierfehler $\pm u$ bewirkt auf die Zielentfernung s einen Richtungsfehler $U'' = \pm \frac{u}{s} \varrho''$. Befindet sich das Instrument in der Mitte zwischen den beiden Zielpunkten, so entsteht durch seine um $\pm u$ exzentrische Lage der Winkelfehler $\pm 2\,U$, also der Fehleranteil $m_J{}^2 = (2\,U)^2$.

Denken wir uns das Instrument genau zentriert, aber beide Signale um $\pm u$ exzentrisch, dann erzeugt jedes der Signale den Richtungsfehler $\pm U$ und damit den Anteil $m_S{}^2 = 2\,U^2$ als Winkelfehler.

2. Fehler der einmaligen Zielung mit dem Betrag m_z,

3. Fehler der einmaligen Ablesung in der Größe m_a,

4. Restlicher Fehlereinfluß E_S einer vorhandenen Stehachsenneigung v [19,4].

Als Fehlereinwirkung aus 2. und 3. erhält man im Sinne des Fehlerfortpflanzungsgesetzes [II 15] vorerst den m.F. M_a des zentrierten Mittels aus $M_a = \frac{m_a}{\sqrt{2}}$, dann den m.F. μ der in einer Fernrohrlage einmal eingestellten und abgelesenen Richtung, nämlich $\mu^2 = m_z{}^2 + M_a{}^2$ und schließlich den m.F. m des in einer Fernrohrlage beobachteten Winkels $m^2 = 2\mu^2$.

Zur Genauigkeitsabschätzung der unter [20,1] — [20,3] erwähnten Verfahren ermitteln wir die zu erwartenden Totalfehler als Summe der oben angeführten Fehleranteile.

20,61 Einfache Winkelmessung

Der m.F. M des in zwei Fernrohrlagen beobachteten und gemittelten Winkels ergibt sich aus $M = \frac{m}{\sqrt{2}} = \mu$, so daß

$$M^2 = m_z{}^2 + M_a{}^2.$$

Mit diesem Anteil der reinen Beobachtungsfehler verbinden sich die unter 1. und 4. genannten Einflüsse zum Totalfehler T_α des einmal in beiden Fernrohrlagen gemessenen Winkels, nämlich

$$T_\alpha{}^2 = M^2 + m\ {}^2 + m_S{}^2 + (E_S)^2.$$

20,62 Repetitionswinkelmessung

Bei Beobachtung des Messungsablaufes nach [20,2] erkennt man, daß der in einer Fernrohrlage durch p Repetitionen bestimmte Winkel $(p\alpha)$ folgende Fehleranteile erhält:

1. die beiden Fehler M_a der zentrierten Mittel für die Anfangs- und Endablesung,
2. insgesamt 2 p Zielfehler m_z für die durchgeführten 2 p Zieleinstellungen.

Unter der Annahme gleich genauer Arbeit in jeder Fernrohrlage entsteht daher der Fehlerbetrag

$$m^2_{(p\alpha)_I} = m^2_{(p\alpha)_{II}} = 2p \,.\, m_z^2 + 2\, M_a^2 = m^2_{(p\alpha)}$$

Das Mittel aus den Messungen in beiden Fernrohrlagen, d. h. der Winkel $(p\alpha) = \frac{(p\alpha)_I + (p\alpha)_{II}}{2}$, wird daher den Fehler $M_{(p\alpha)} = \frac{m_{(p\alpha)}}{\sqrt{2}}$ aufweisen, nämlich

$$M^2_{(p\alpha)} = p \,.\, m_z^2 + M_a^2,$$

und der aus p Repetitionen bestimmte Winkel $\alpha = \frac{(p\alpha)}{p}$ ist somit fehlerhaft um

$$M_{(\alpha)} = \frac{M_{(p\alpha)}}{p}, \quad M^2_{(\alpha)} = \frac{m_z^2}{p} + \frac{M_a^2}{p^2}.$$

20,63 Satzweise Richtungsmessung

Erhält man bei s Sichten und n Sätzen nach deren Ausgleichung [II 21] die Quadratsumme $[vv]$ aller Richtungsverbesserungen v, so ist der m.F. m_r einer beliebigen, aus den Beobachtungen in beiden Fernrohrlagen gemittelten Satzrichtung bestimmt durch $m_r = \frac{\mu}{\sqrt{2}}$ und zu berechnen aus

$$m_r = \sqrt{\frac{[vv]}{(n-1)\,(s-1)}}.$$

Dieser Wert müßte ungefähr übereinstimmen mit dem aus [20,6] folgenden Voranschlag

$$m_r^2 = \frac{\mu^2}{2} = \frac{m_z^2 + M_a^2}{2}.$$

Der m.F. jeder Richtung des aus n Einzelsätzen gemittelten Ergebnissatzes beträgt daher

$$M_r = \frac{m_r}{\sqrt{n}}.$$

20,64 Genauigkeitsvergleich

Aus [20,61] entnimmt man als Anteil der reinen Beobachtungsfehler bei der einmaligen einfachen Winkelmessung

$$M^2 = m_z^2 + M_a^2$$

Wird der Winkel einzeln p-mal gleich genau beobachtet und das arithmetische Mittel dieser p Einzelmessungen gebildet, dann weist dieses den folgenden m.F. auf

$$M_\alpha = \frac{M}{\sqrt{p}}, \qquad M_\alpha^2 = \frac{m_z^2}{p} + \frac{M_\alpha^2}{p}.$$

Vergleicht man dies mit dem Ergebnis von [20,62] für denselben, aber p-mal repetierten Winkel, nämlich

$$M^2_{(\alpha)} = \frac{m_z^2}{p} + \frac{M_a^2}{p^2},$$

so erkennen wir, daß die Repetitionsmessung vor allem den Anteil des reinen Ablesungsfehlers herabsetzt. Sie wird daher vorteilhaft dann anzuwenden sein, wenn für eine beabsichtigte schärfere Winkelbeobachtung nur ein Instrument mit geringerer Ablesegenauigkeit verfügbar ist.

Betrachten wir schließlich noch den mutmaßlichen Totalfehler T_α, der bei Polygonwinkelmessung mit einem Noniustheodolit (Angabe $\nu = 20''$, $m_a = \pm 20''$, $M_\alpha^2 = 200(''^2)$, $m_z = \pm 4''$) bzw. bei Triangulationsbeobachtungen mit einem Schraubenmikroskoptheodolit ($m_a = \pm 2''$, $M_a^2 = 2(''^2)$, $m_z = \pm 2''$) eintreten wird:

Polygon.

Annahme: Gleich großer Zentrierfehler $u = \pm 5$ mm für Instrument und Zielzeichen, $s = 100$ m, $U = \pm 10''$ und $E_S = 20''$.

Somit ergibt sich nach 1. von [20,6]

$m_J^2 = 4\,U^2 = 400(''^2)$, $m_S^2 = 2\,U^2 = 200(''^2)$, $(E_S)^2 = 400(''^2)$ und daher nach [20,61]:

$$M^2 = 216(''^2) \text{ bzw.}$$

$$T_\alpha^2 = 216 + 400 + 200 + 400 = 1216\,(''^2),\ T_\alpha'' = \pm 35''.$$

Triangulierung.

Annahme: Zentrierfehler beim Instrument $u_J = \pm 5$ mm, beim Zielzeichen

$$u_S = \pm 1\,\text{cm},\ s = 1\,\text{km},\ E_S \doteq +5'',\ \text{somit}\ U_J \doteq \pm 1'',$$

$$U_S \doteq \pm 2''\ \text{und entsprechend}\ m_J^2 = 4\,U_J^2 \doteq 4(''^2),\ m_S^2 = 2\,U_S^2 \doteq 8(''^2),$$

$$(E_S)^2 = 25(''^2).$$

Es ergibt sich $M^2 = 4(''^2)$ und schließlich

$$T_\alpha^2 = 4 + 4 + 8 + 25 = 41(''^2),\quad T_\alpha = \pm 6{,}4''.$$

Diese Abschätzungen zeigen deutlich, wie sehr die angenommenen äußeren Einflüsse, die in der Praxis u. U. noch bedeutender sein mögen, den Totalfehler der Winkelmessung vergrößern. Eine vorhandene innere Instrument-Genauigkeit wird nur dann voll ausgenützt werden können, wenn bei bestmöglicher Lotrechtstellung der Stehachse zugleich auch das Instrument und die Zielzeichen sehr genau zentriert sind.

Man muß daher für gute Polygonwinkelmessung stets die Sichtbarkeit der Fluchtstabspitzen am Zielpunkt fordern. Ist dies nicht erreichbar, dann soll die Lotrechtstellung des Stabes durch ein angehaltenes Senkel versichert sein. Die übliche Halbierung des Fluchtstabes durch den Vertikalfaden wird stets vom Einfluß eines Zentrierfehlers im Ausmaß des ersten Beispieles begleitet sein. Es ist durchaus keine übertriebene Maßnahme, während laufender Triangulierungsbeobachtungen die Zentrierung der Zielzeichen möglichst oft zu überprüfen, u. zw. am besten mit dem Vorgang, den das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen für seine Arbeiten vorschreibt. Hiebei wird von zwei seitlichen Instrumentständen aus, in zueinander ungefähr normalen Richtungen, jedesmal das obere und untere Ende der Helmstange des Signals auf die Steinoberfläche abgelotet. Im Schnittpunkt entsprechender Richtungen ergibt sich die Lage der beiden Enden und mit den erhobenen Signalmaßen die Grundriß- und auch die Höhenlage jedes beliebigen Punktes der Signalachse in bezug auf das Bodenzentrum.

Nach Orientierung des Grundrisses der Helmstange, die hinreichend genau mit einer kleinen Bussole erfolgt, vermittelt die angefertigte Skizze alle Elemente für die spätere Ableitung des Steinzentrums aus dem bei der Beobachtung verwendeten Zielpunkt. Dieser ist grundsätzlich in die Mitte des schwarzen Signalkopfes zu verlegen. Die gekalkte weiße Bretterverschalung trigonometrischer Zeichen dient lediglich zu ihrer leichteren Auffindung, nicht aber zur Einstellung. Nur bei sehr kurzen Sichten darf der dann deutlich sichtbare Senkelhaken am unteren Ende der Helmstange eingestellt werden. Für Stangensignale ist stets ihr Aufsatzpunkt am Bodenzeichen als Ziel zu nehmen.

21 Messung von Höhenwinkeln und Zenitdistanzen

Von den vielen möglichen Arten der Einrichtungen für die Messung der Zielstrahlneigung bei gewöhnlichen Theodoliten (Vollkreis mit rechts- oder linkslaufender Teilung, Höhenkreisbogen, Höhenkreisalhidade mit oder ohne Versicherungslibelle usw.) betrachten wir hier nur die folgende sehr häufig vorkommende Form, nämlich:

Vertikalkreis mit einer entgegen dem Sinn des Uhrzeigers durchlaufenden Teilung, mit Versicherungslibelle zu den beiden Ableseeinrichtungen, von denen die in der Fernrohrlage I okularseitig gelegene bei waagrechter Zielung die Ablesung Null angibt.

Bei Abweichungen von dieser Bauart und Einhaltung des in [21,1] erläuterten Beobachtungs- und Berechnungsvorganges führt dieser, mit geringfügiger und leicht im vorhinein feststellbarer Abänderung, stets zum zweifelfreien Wert des Höhenwinkels β oder der Zenitdistanz $z = 90^0 - \beta$.

Die Verwendung von Theodoliten der *Wild*- bzw. *Zeiß*-Werke wird in [21,2] gesondert dargestellt.

Auch bei durchgeführter Überprüfung der waagrechten Lage des Horizontalfadens [19,71 B 1] empfiehlt es sich, die Zielpunkte immer knapp neben dem Vertikalfaden durch den Horizontalstrich zu schneiden oder in beiden Fernrohrlagen mit gleichem Abstand, aber auf verschiedenen Seiten, vom Vertikalstrich einzustellen.

Für den mit dem Fernrohr sich drehenden Höhenkreis und seine die Ableseeinrichtung tragende Alhidade, deren Achse nun durch die Kippachse gegeben ist, gelten durchaus ähnliche Forderungen wie für den Horizontalkreis. Ihre Nichterfüllung führt zu Fehlereinflüssen, die wir indessen nicht mehr einzeln betrachten. Unter sinngemäßer Übertragung der Entwicklungen von [19] ergeben sich die folgenden Schlüsse:

1. Die Exzentrizität der Kippachse gegen den Mittelpunkt des Höhenkreises wird durch Zentrierung beider Ablesungen getilgt.
2. Eine Exzentrizität der Zielachse bezüglich der Kippachse äußert sich nun ähnlich wie die Exzentrizität der Zielebene beim Horizontalkreis [19,3] und ist daher durch Mittelung der Beobachtungen in beiden Fernrohrlagen ausschaltbar.
3. Den Maximaleinfluß eines Stehachsenfehlers auf die Bestimmung von Höhenwinkeln erkennen wir deutlich durch die folgende Betrachtung. Ist bei lotrechter Stehachse ein Zielpunkt eingestellt und der Höhenkreis abgelesen, so wird durch Erzeugung eines Stehachsenfehlers in der Zielebene, der Zielstrahl um den gleichen Betrag mitgenommen. Die Neueinstellung des Zielpunktes muß daher zu einer gleich großen Änderung der Kreisablesung führen.

   Verbindet man aber mit dem die Ableseeinrichtung tragenden Arm der Höhenkreisalhidade eine, in der Zielrichtung liegende, sog. Ver-

sicherungslibelle und läßt diese mit der zugehörigen Feinschraube vor jeder Kreisablesung einspielen, dann zeigt eine einfache Überlegung, daß der richtige Höhenwinkel β sich aus dem Mittel der in beiden Fernrohrlagen I, II gemessenen Winkeln β_{I}, β_{II} ergibt.

4. War das Instrument während der Beobachtung von β_{I} bzw. β_{II} mit den Fehlern v, i, c der Steh-, Kipp-, Zielachse behaftet, dann ist, unter der obigen Voraussetzung jedesmal einspielender Versicherungslibelle, der Höhenwinkel β um den folgenden Betrag $\Delta\beta$ verfälscht[33].

$$\Delta\beta = \frac{(v\cos\omega)^2 + i^2 + c^2}{2}\,\mathrm{tg}\,\beta + \frac{(v\cos\omega)\,i\sin\beta + (v\cos\omega)\,c + i\cdot c}{\cos\beta}$$

(Bedeutung von ω wie bei [19,4]).

Da wir aber nach den einleitenden Hinweisen von [19] die Größe von v, i, c durch meßgerechte Aufstellung so beschränken, daß ihre Quadrate und Produkte vernachlässigbar sind, findet man praktisch $\Delta\beta = 0$.

5. Die einspielende Versicherungslibelle ist dann richtig, wenn sich bei lotrechter Stehachse und waagrechter Zielung die zentrierte Ablesung Null ergibt. Ist dies nicht der Fall, dann besteht ein sogenannter Indexfehler j der Ableseeinrichtung. Obwohl er durch Mittelung der Beobachtungsergebnisse in beiden Fernrohrlagen ausfällt, ist es dennoch ratsam, ihn durch Berichtigung auf einen möglichst kleinen Betrag zu senken, u. zw. im Zuge des nachstehend beschriebenen allgemeinen Beobachtungsvorganges.

21,1 Beobachtungsverfahren beim gewöhnlichen Theodolit

Nach meßgerechter Aufstellung des Theodolites werden die Messungen in der folgenden Anordnung ausgeführt:

Fernrohrlage I:

1. Zielpunkt P mit dem Horizontalfaden einstellen und die Versicherungslibelle mit der Feinbewegung des die Ablesungseinrichtungen tragenden Armes einspielen lassen,
2. okularseitige Ablesung A_1',
3. objektivseitige Ablesung B_1',
4. Bildung des zentrierten Mittels $\mathrm{I}' = \dfrac{A_1' + B_1'}{2} = \beta + j$

   Durchschlagung des Fernrohres in die

Fernrohrlage II:

5. So wie oben 1.,
6. objektivseitige Ablesung A_2',
7. okularseitige Ablesung B_2',
8. Bildung des zentrierten Mittels $\mathrm{II}' = \dfrac{A_2' + B_2'}{2} = \beta + j + 2z$.

Während des Durchschlagens wird das Fernrohr aus seiner anfänglichen, in Abb. 110 a voll ausgezogenen Lage um $2z$ weitergedreht, so daß vorerst seine Zielachse in die gestrichelt gezeichnete Richtung gelangt und die ursprüngliche Ablesung A_1' in $B_2' = \beta + j + 2z$ übergeht. Nach Rückdrehung des Instrumentes und Ein-

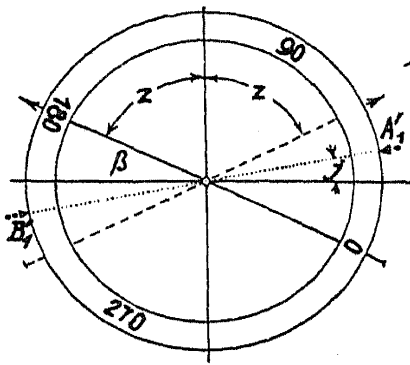
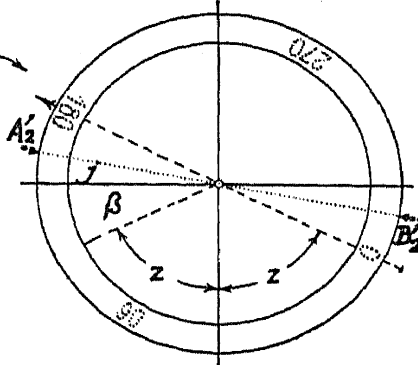



Abb. 110a. Abb. 110b.

stellung des Zielpunktes ergeben sich die in Abb. 110 b angedeuteten Verhältnisse. Der bei den Ablesungen zu Fernrohrlage I (Abb. 110 a) vor der Bildfläche stehende Beobachter, begibt sich zur Ablesung in Fernrohrlage II (Abb. 110 b) nun hinter die Bildfläche. Die für ihn tatsächlich linksläufige Kreisbezifferung ist in Abb. 110 b punktiert angedeutet.

Wenn wir die bei einspielender Versicherungslibelle vorhandene Neigung j der Nullpunkt-Verbindungslinie beider Ablesestellen als „Indexfehler" einführen, findet man bei Betrachtung der Abb. 110 die folgenden Ablesungen und Ergebnisse:

Fernrohrlage I:

$A_1' = \beta + j$, B_1', also $I' = \beta + j$ und aus Abbildung

Fernrohrlage II:

$A_2' = \beta + j + 2z$, B_2', also $II' = \beta + j + 2z$.

Daraus ergibt sich

$II' - I' = 2z$ und $z = \frac{II' - I'}{2}$, befreit vom Einfluß des Indexfehlers bzw. $II' + I' = 2\beta + 2z + 2j$ und mit $\beta = 90^0 - z$ entsteht

$$II' + I' = 180^0 + 2j = S'.$$

Aus dieser Summe S', deren Sollwert $S = 180^0$ durch den doppelten Indexfehler verfälscht ist, wird j berechnet und zur Her-

stellung der Sollablesungen $II = II' - j$, $I = I' - j$ benützt, die man zur Berichtigung der Versicherungslibelle benötigt[34].

Das folgende Beispiel erläutert die Art der Anschreibung und Ausrechnung.

Nach	FRL	Höhenkreis						I'			2z = II' — I'		
		okularseitig			objektivseitig			II'			(z)		
1	2	3			4			5			6		
P	I	19	17	24	199	18	00	19	17	42	141	22	24
	II	340	40	12	160	40	00	160	40	06	(70	41	12)
								179	57	48	$= S'$		
								—	2	12	$= 2j$		

Zur Berichtigung der Versicherungslibelle ermittelt man die Indexverbesserung $-j = +1'06''$, rechnet die Sollablesung für die Fernrohrlage, in der sich das Instrument eben befindet, also z. B. $II = II' - j = 160^0\,41'12''$, und führt durch Drehung der entsprechenden Feinschraube jene Ablesungen A_2', B_2' herbei, die das zentrierte Mittel II ergeben, also etwa $A_2' = 160^0\,41'\,06''$, $B_2' = 340^0\,40'\,18''$. Der sich zeigende Ausschlag der Versicherungslibelle wird nun vollständig mit ihren Richtschräubchen entfernt.

Stellen wir darauf, zur Kontrolle, in Fernrohrlage I neuerlich *P* ein und lesen bei einspielender Libelle ab, so ergibt sich etwa $A_1' = 19^0\,18'\,30''$, $B_1' = 199^0\,19'\,06''$, $I = 19^0\,18'\,48''$. Aus der Summe $I + II = S = 180^0$ erkennen wir die gelungene Tilgung des Indexfehlers und weiterhin auch die Tatsache, daß die hier betrachtete Theodolitform, nach durchgeführter Berichtigung, mit dem zentrierten Mittel I unmittelbar den richtigen Höhenwinkel angibt. Dies ist insbesonders für den Fall wichtig, wo mit einem solchen Instrument zahlreiche Höhenwinkel zu bestimmen sind, wie etwa gelegentlich einer tachymetrischen Geländeaufnahme [28], bei der man zur Zeitersparung nur in der Fernrohrlage I beobachtet.

Oftmals ist bei sehr genauen Theodoliten, mit Mikroskopablesung des Höhenkreises, keine Feineinstellung für den Träger der Mikroskope bzw. der Versicherungslibelle vorgesehen. Hier muß diese, ähnlich wie eine Alhidadenlibelle, nach guter Lotrechtstellung der Stehachse bei allen Zielungen nahezu einspielen. Die Bestimmung des Blasenausschlages im Verein mit der bekannten Empfindlichkeit τ [18,1] liefert dann die Grundlagen für die Neigungsermittlung der Nullpunktlinie beider Mikroskope im Augenblick ihrer Ablesung[35]. Durch entsprechende Zufügung dieser Neigung zum zentrierten Mittel wird dieses auf die Ablesung reduziert, die sich bei einspielender Libelle ergeben hätte.

In ähnlicher Art sind auch minder genau ablesbare Theodolite wohl mit einer Versicherungslibelle, aber keiner eigenen Feinschraube für ihre Einspielung versehen. Man berichtigt hier die Versicherungs-

libelle wie eine Alhidadenlibelle [19,71], so daß sie in allen Instrumentenlagen bestmöglich einspielt.

Wenn nach Erledigung aller Horizontalbeobachtungen schließlich noch einzelne Höhenwinkel zu messen sind, wird man vor der genauen Einstellung des Zieles die Versicherungslibelle mit der am kräftigsten auf sie einwirkenden Limbusstellschraube einspielen lassen, nachher ablesen und sogleich auch die Beobachtung desselben Zieles, bei gleichartiger Einspielung der Libelle, in der zweiten Fernrohrlage anschließen. Wegen der hiebei allmählich eintretenden vollständigen Verstellung der Stehachse soll dieser Weg nur ausnahmsweise und nur für einige Ziele beschritten werden.

Besitzt ein Instrument nur einen Höhenbogen für Ablesung in der Fernrohrlage I, dann ist der Indexfehler auf folgende Weise zu bestimmen und zu beseitigen: Man stellt das Instrument meßgerecht über einem Bodenpflock auf und mißt von ihm aus den Abstand J zur Kippachse, die sog. Instrumentenhöhe. Auf einem zweiten Pflock, dessen Höhenunterschied H gegen den ersten Pflock (etwa durch Nivellement [26]) bekannt ist, wird eine Nivellierlatte lotrecht aufgesetzt. Stellt man in ihrer Teilung den Horizontalfaden auf die Ablesung $H + J$, dann ist die Zielung waagrecht. Die erforderliche Höhenbogenlesung Null erreicht man durch Verschiebung der Ablesemarke mit den hiezu vorgesehenen Richtschräubchen.

Ist das Fernrohr mit einer Nivellierlibelle versehen, dann wird zuerst diese nach dem Vorgang von [26,4] berichtigt und schließlich, bei einspielender Libelle, die Höhenbogenlesung Null wie oben hergestellt.

21,2 Beobachtungsverfahren beim Theodolit nach Bauart *Wild-Zeiß*

Die Ablesung des Höhenkreises erfolgt, nach Einspielung der Versicherungslibelle mit der auf sie wirkenden Feinschraube, durch Herbeiführung der Teilungskoinzidenz mit dem gleichen optischen Mikrometer, das auch zur Ablesung des Horizontalkreises dient [18,252], in der a. a. O. dargestellten Weise.

Wie bereits am Schluß von [18,1] erwähnt wurde, ist die einspielende Libelle gekennzeichnet durch die Übereinstimmung der Kuppen beider Blasenhälften (siehe Abb. 167 u. 170), deren Bilder über das *Wild*sche Prismensystem dem Beobachter so dargeboten werden, daß er sie mit geringer Kopfbewegung vom Okularende des Fernrohres aus erblickt.

Je nach Bauart und Instrumententype sind entweder beide Kreisteilungen gleichzeitig sichtbar oder die Umstellung des Strahlen-

ganges, von der einen auf die andere, wird mit einem Schieber oder einem Schaltknopf bewirkt (Abb. 72). Die entweder gemeinsame bzw. auch getrennte Beleuchtung der Kreise erfolgt durch klapp- und schwenkbare Spiegel, die auf günstigste gleichmäßige Helligkeit des Teilungsfeldes einzustellen sind bzw. auch durch elektrische Beleuchtung. Wurde sie im Instrument fest eingebaut, so ist ihre Intensität über einen Widerstand zu regeln, und als Stromquelle dient ein Batteriensatz, der in einem Lederbehälter am Stativ angebracht wird (Abb. 103). Bei *Zeiß*-Theodoliten ist, nach Aufklappung des in Richtung der Kippachse reflektierenden Beleuchtungsspiegels, eine gewöhnliche Taschenlampe anklemmbar (Abb. 101).

Die allmähliche Entwicklung und Ausbildung zu einer reichen Mannigfaltigkeit bestehender Instrumententypen erlaubt es nicht, diese hier einzeln zu behandeln. Es ist empfehlenswert, die zum Instrument gehörige Gebrauchsanweisung zu Rat zu ziehen oder — falls nicht verfügbar — an dem meßbereit aufgestellten Instrument einige Überlegungen der folgenden Art anzustellen, die dann stets volle Klärung hinsichtlich der Bedeutung der Höhenkreisablesung bringen.

Im vorhinein halte man fest, daß die letzten Formen der *Zeiß*-Theodolite in der Fernrohrlage I stets den Rohwert der Zenitdistanz z angeben, ob nun die Höhenkreisablesung mit Skalen (Theodolite III, IV) erfolgt oder mit einem optischen Mikrometer (Theodolit II, 40). In der Fernrohrlage II erscheint die Ablesung $360^0 - z$.

Der Bussolentheodolit *Wild* TO ([22,1], Abb. 113) läßt unmittelbar den Höhenwinkel β auf $1'$ genau ablesen.

Beim Repetitionstheodolit *Wild* T 1 ([20], Abb. 102) gab die ältere Form in Fernrohrlage I gleichfalls den Rohwert des Höhenwinkels, während man bei der neuen Form (siehe Beschreibung zu Abb. 102) unmittelbar die Zenitdistanz z erhält.

Die allerersten *Wild*-Universaltheodolite zeigten bei waagrechter Zielung in Fernrohrlage I die Ablesung 90°, und den Höhenwinkel β erhielt man aus dem Unterschied der Ablesungen I′, II′ in der I. und II. Fernrohrlage mit $\beta = \mathrm{I}' - \mathrm{II}'$. Bei allen später entwickelten und mit dem Zusatz *T* 2 gekennzeichneten Formen gibt die Ablesung in der Fernrohrlage I den Rohwert der Zenitdistanz. Aus Beobachtungen in beiden Fernrohrlagen ist die Zenitdistanz durch die Formel $z = 180^0 - \frac{\mathrm{II}' - \mathrm{I}'}{2}$ oder der Höhenwinkel mit $\beta = \frac{\mathrm{II}' - \mathrm{I}'}{2} - 90^0$ zu berechnen.

Der für besonders genaue Messungen bestimmte *Wild*-Präzisionstheodolit T 3 ([20], Abb. 103) ist auf beiden Kreisen mit dem Intervall $a = 4'$ geteilt, so daß, nach Herstellung der Tei-

lungskoinzidenz, die Grobablesung ein Vielfaches von 2′ angibt. Da die Trommel des optischen Mikrometers aber in 60 bezifferte Sekunden zu je 10 Intervallen von 0,1″ geteilt ist, müßte die bei der Teilungskoinzidenz vorhandene Trommelablesung verdoppelt der Grobablesung zugefügt werden. Zur Erhöhung der Genauigkeit stellt man indessen zweimal die Teilungskoinzidenz her, addiert zur Groblesung die Summe der beiden Feinablesungen und erhält damit den Wert der zentrierten Richtung, so wie es bei der Beschreibung zur Abb. 90 d angegeben ist. Bei 400^g-Teilung entsteht das zentrierte Mittel bereits durch einmalige Koinzidenz, entsprechend Abb. 90 e.

Da beim Präzisionstheodolit T 3 von *Wild*, ähnlich wie dies für die ersten *Wild*-Universaltheodolite zutraf, die Bezifferung des Höhenkreises nur den halben Winkelwert der Fernrohrneigung angibt, ist der richtige Höhenwinkel zu berechnen aus $\beta = I' - II'$.

Zur vorne erwähnten Feststellung, ob das vorhandene Instrument in der Fernrohrlage I die Zenitdistanz z oder den Höhenwinkel β andeutet, bringt man das Fernrohr in ungefähr waagrechte Lage und findet entweder die Ablesung 0^0 oder 90^0. Beim Hochkippen der Zielung bis zu einem geschätzten Höhenwinkel und unter Verfolgung der Teilungsbewegung, gibt die Endablesung meist sofort Aufschluß, ob die Bezifferung dem Höhenwinkel oder der Zenitdistanz entspricht.

Als eine ungewöhnliche Besonderheit des Präzisionstheodolites T 3 von *Wild*, aber auch der älteren Form des Theodolites T 2 (Universaltheodolit) von *Wild*, die auf die oben angegebene Art nicht ohne weiteres erkannt und erklärt werden kann, sei nochmals betont, daß bei ihnen die Höhenkreisbezifferung nur dem halben Wert der Fernrohrneigung entspricht. Findet man in der Fernrohrlage I bei waagrechter Zielung 90^0, so wird sich bei einem geschätzten Höhenwinkel von $\beta = 30^0$ daher nicht die Ablesung 120^0, sondern vielmehr nur $90^0 + \frac{\beta}{2} = 105^0$ einstellen.

Die zweckmäßigste Art der schließlichen Ausrechnung ergibt sich durch geeignete Kombination der Ablesungen in beiden Fernrohrlagen im Sinne der folgenden, auf die Theodolite *Zeiß* II und *Wild* T 3 beschränkten Beispiele.

Beobachtungsvorgang, Ausrechnung, Berichtigung des Indexfehlers.

Typus: Theodolit II von *Zeiß*.

Fernrohrlage I

1. Einstellung des Zielpunktes, Einspielen der Versicherungslibelle bis zur

Koinzidenz des Kuppenrandes der beiden Blasenhälften, Koinzidenzeinstellung der Teilungen mit dem optischen Mikrometer, Ablesung des zentrierten Mittels

$$I' = 87^\circ\, 14'\, 22''.$$

Fernrohrlage II

2. Wie oben 1. und Ablesung des zentrierten Mittels

$$II' = 272^\circ\, 44'\, 04''.$$

3. Ausrechnung: $I' + II' = S' = 359^\circ\, 58'\, 26'' = S + 2\,j = 360^\circ + 2\,j.$

$$2\,j = \quad -1'\, 34'', \text{ Indexfehler } j = -47''.$$

$$\text{Indexverbesserung } -j = +47''.$$

$$\text{Zenitdistanz } z = \frac{I' + (360^\circ - II')}{2} = 87^\circ\, 15'\, 09''.$$

Verbesserte Ablesungen: $I = I' - j = \ 87^\circ\, 15'\, 09'' = z.$

$$II = II' - j = 272^\circ\, 44'\, 51'' = 360 - z,$$

Probe: $I + II = S = 360^\circ\, 00'\, 00''.$

4. Zur Entfernung des verhältnismäßig großen Indexfehlers verdreht man das Mikrometer von der unter 2. erhaltenen Ablesung $4'\, 04''$ auf den Betrag der verbesserten Ablesung II, nämlich auf $4'\, 51''$, wodurch die Koinzidenz der Teilungen verlorengeht. Durch Betätigung der auf die Versicherungslibelle einwirkenden Feinschraube wird die Koinzidenz der Teilungen neuerlich hergestellt und schließlich die Versicherungslibelle mit ihren Richtschräubchen zum Einspielen gebracht.

Typus: Präzisionstheodolit T 3 von *Wild*.

Da der Beobachtungsvorgang mit dem beim vorigen Beispiel geschilderten übereinstimmt, wird nur die bei den allgemeinen Hinweisen erklärte Doppelablesung hervorgehoben, nämlich

Fernrohrlage I

Grobe Ablesung		$90^\circ\, 24'$,
Feinlesung, 1. Koinzidenz		$05{,}8''$,
Feinlesung, 2. Koinzidenz		$06{,}0''$,
Zentriertes Mittel	$I' =$	$90^\circ\, 24'\, 11{,}8''$.

Fernrohrlage II

Grobe Ablesung		$89^\circ\, 36'$,
Feinlesung, 1. Koinzidenz		$00{,}2''$,
Feinlesung, 2. Koinzidenz		$00{,}0''$,
Zentriertes Mittel	$II' =$	$89^\circ\, 36'\, 00{,}2''$.

Ausrechnung: Höhenwinkel $\beta = I' - II' = \quad 0^\circ\, 48'\, 11{,}6''$,

$$I' + II' = S' = S + 2\,j = 180^\circ\, 00'\, 12{,}0'',$$

$$2\,j = \quad + 12{,}0'',$$

$$\text{Indexverbesserung } -j = \quad -6{,}0''.$$

Verbesserte Ablesungen: $I = I' - j = \ 90^\circ\, 24'\, 05{,}8''$,

$$II = II' - j = \ 89^\circ\, 35'\, 54{,}2'',$$

$$I - II = \beta = \ 0^\circ\, 48'\, 11{,}6'',$$

$$I + II = S = 180^\circ.$$

Wegen der Kleinheit des Indexfehlers ist eine Berichtigung kaum mehr empfehlenswert. Man müßte z. B. in der eben vorhandenen Fernrohrlage II die Mikrometertrommel von der letzten Ablesung 00,0″ auf jenen Betrag 57,1″ bringen, der, doppelt genommen, den jetzt erforderlichen Zuschlag von 1′ 54,2″ zur Groblesung 89° 34′ erzeugt.

Die nun nicht mehr vorhandene Koinzidenz der Teilungen wird mit der Feinschraube zur Versicherungslibelle wieder hergestellt, und diese läßt man darauf mit ihren Richtschräubchen einspielen.

21,3 Zusätzliche Bemerkungen

Bei Messung in beiden Fernrohrlagen bilde man stets sogleich die Ist-Summe $S' = \mathrm{I}' + \mathrm{II}' = S + 2j$, denn größere Abweichungen von der Soll-Summe S, die entweder 180° oder 360° beträgt bzw. vom letztmalig ermittelten Wert $2j$ weisen darauf hin, daß entweder die Versicherungslibelle nicht eingespielt war oder daß ein Ablesungsfehler unterlief.

Kleine Verschiedenheiten von S' in aufeinanderfolgenden Standpunkten (insbesonders bei Polygonmessung) sind eine Folge der unvermeidlichen Beobachtungs- und Ablesungsfehler sowie der mangelhaften Libelleneinspielung.

Bessere Theodolite der älteren Bauart besitzen oft einen Höhenkreis, der auf der Kippachse durch Reibung haftet und von Hand aus verdrehbar ist, so daß auch die Höhenwinkel, ähnlich wie bei Horizontalbeobachtungen, zur Tilgung der Teilungsfehler in regelmäßig verteilten Kreisständen gemessen werden können.

Die günstigste Zeit zur Ausführung der Höhenwinkelbeobachtungen für die Zwecke der trigonometrischen Höhenbestimmung [27] im Triangulierungsnetz ist die M i t t a g s z e i t wegen des dann voraussichtlich bereits eingetretenen Ausgleichszustandes der Atmosphäre[36]. Das zu dieser Zeit die Beobachtungen erschwerende Flimmern durch Luftunruhe ist auf die Ermittlung richtiger Höhenunterschiede weniger von Einfluß als die morgens und abends immer vorhandene Luftschichtung, die zwar eine angenehmere Beobachtung ruhiger Ziele ermöglicht, aber systematische Höhenfehler wegen abnormaler Refraktion bewirkt.

Da die Berechnung der trigonometrischen Höhenunterschiede stets die Höhe der Kippachse (Instrumentenhöhe J) und die Höhe des Zielpunktes (Zielhöhe Z) über dem Bodenzeichen erfordert, ist es ratsam, die Instrumentenhöhe J immer schon vor Beginn der Höhenwinkelmessung durch direkte Abmessung zu bestimmen, aber auch, zur Kontrolle, die Höhenmaße des u. U. über dem Standpunkt errichteten trigonometrischen Signals nachzumessen, obwohl diese sog.

Signalmaße (Signalangaben) bereits beim Bau des Zeichens aufgenommen wurden.

22 Das Bussoleninstrument

Dieses theodolitähnliche Instrument[37] besteht aus einer Bussole mit linkslaufender, d. h. entgegen dem Sinne des Uhrzeigers bezifferter Vollkreisteilung, die mit der Zieleinrichtung in geeigneter Weise verbunden ist, und benützt die Richtkraft des Magnetfeldes der Erde zur Festlegung von Richtungen in bezug auf den magnetischen Meridian (M. M.) des Standpunktes.

An Stelle von solchen eigentlichen Bussoleninstrumenten kann auch jeder unmagnetische Theodolit wie ein Bussoleninstrument, als sog. Bussolentheodolit, gebraucht werden, wenn man ihn entweder mit einer zentral gelegenen Vollkreisbussole oder mit einer Aufsatzbussole ausrüstet, die dann, ähnlich wie eine Reiterlibelle, auf geeigneten Stützen des Fernrohrträgers Halt findet.

Mit Hilfe einer festen oder im Bedarfsfall anklemmbaren Röhrenbussole, die oft auch als Richt-, Kasten- oder Orientierungsbussole bezeichnet wird, ist es möglich, jenen Durchmesser des Theodolithorizontalkreises zu bestimmen, der in der Richtung des M. M. des Standpunktes liegt.

Abb. 111a. *(Zeiß.)*

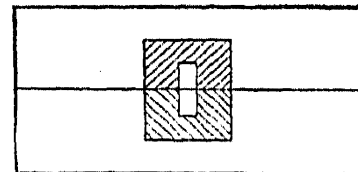



Abb. 111b. *(Zeiß.)*

Die Abb. 111 a zeigt eine am rechten Arm des Fernrohrträgers aufgeklemmte Röhrenbussole, wie sie bei *Zeiß*-Instrumenten Verwendung findet, hier als Zusatzgerät zum Reduktionstachymeter *„Dahlta"-Zeiß* [25,23]. Die Enden der Bussolennadel werden in der Fernrohrlage I ober- und unterhalb einer feinen Trennlinie im Gesichtsfeld des Rohres erblickt. Dreht man die Alhidade so lange, bis die Nadelenden nach Art der Abb. 111 b koinzidieren, dann ist die Nadelachse parallel zur Zielachse des Fernrohres, und die Ablesung am Theodolitkreis gibt die Richtung des M. M. in dieser Kreisstellung an.

22,1 Aufbau des Instrumentes, Prüfung und Berichtigung

Die Bussole ist stets so angebracht, daß der 0°—180°-Durchmesser der Teilung zur Zielachse des Fernrohrs parallel liegt. Im Kreismittelpunkt befindet sich eine Spitze (Pinne), auf der die balkenartig hochkantig gelagerte Magnetnadel mit einem Achathütchen schwingt.

Bei Nichtgebrauch muß die Nadel mit ihrer Arretiervorrichtung immer festgestellt werden. Erst bei meßgerechter Aufstellung des Instrumentes ist sie durch Lösung der Klemme auf die Pinne zu setzen. Bussoleninstrumente sollen nie im Instrumentenbehälter verpackt aufbewahrt werden, sondern in meßgerechter Stellung und bei gelöster Nadel, wodurch ihr voller Magnetisierungsgrad gesichert erhalten bleibt.

Die magnetische Achse der Nadel ist durch die Verbindungslinie ihrer Pole gegeben und soll mit der mechanischen Nadelachse durch ihre Spitzen zusammenfallen. Ein verschiebbares Gewichtchen dient zum Einstellen der Nadelspitzen in die Teilungsebene. Dies ist dann notwendig, wenn das Instrument in verschiedenen geographischen Breiten φ verwendet wird, da die mit φ veränderliche magnetische Inklination die Nadelneigung beeinflußt.

Bei einer sog. *Schmalcalder*-Bussole trägt die Nadel — oder ein aus mehreren solchen gebildeter Nadelsatz — den mit ihr schwingenden Teilkreis. Dieser wird u. U. über ein mit dem Bussolengehäuse fest verbundenes Prisma abgelesen, dessen Indexlinie zur Zielachse parallel liegt.

Den üblichen Aufbau und die Anordnung der Einzelteile bei einem typischen Bussolentheodolit wurde bereits an Hand der Abb. 105 besprochen, und als Beispiel für die häufig anzutreffende Form mit

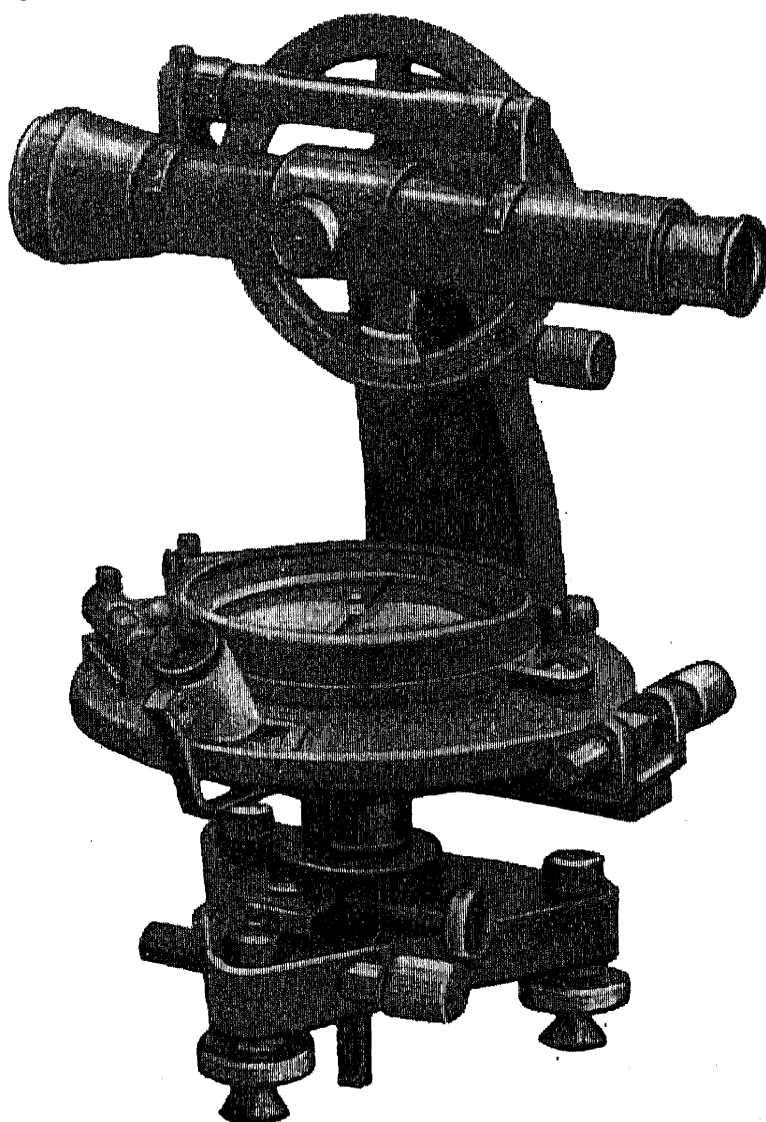



Abb. 112. *(Neuhöfer.)*

einem einarmigen Fernrohrträger zeigt die Abb. 112 das Universal-Bussolen-Instrument 80 der *Neuhöfer u. Sohn, A. G.,* Wien.

Das Fokussierfernrohr, mit dem in Richtung der Kippachse wirkenden Triebknopf der Fokussierlinse, liegt zentrisch über der gleichfalls zentrisch angeordneten Bussole. Ein Vertikalvollkreis mit einem Nonius (Angabe 2′ oder 2ᶜ) ermöglicht Höhenwinkelmessung in beiden Fernrohrlagen. Der bei diesem Instrument vorgesehene Horizontalkreis ist mit Repetitionseinrichtung ausgestattet und mit einem Nonius (Angabe 1′ oder 1ᶜ) abzulesen.

Die vom Kreisverdeck abschraubbare Bussole kann auf einer dem Instrument beigegebenen Zulegeplatte befestigt werden, deren Ziehkante zum Durchmesser 0°—180° parallel ist.

Bei dem in ähnlicher Form, jedoch ohne Horizontalkreis und nur mit Höhenbogen erzeugten eigentlichen oder gewöhnlichen Bussoleninstrument ist an die Grundplatte des abnehmbaren Bussolengehäuses eine Zeichenkante angefräst. Anstatt des Tellerstativs ist ein einfaches Zapfenstativ vorgesehen.

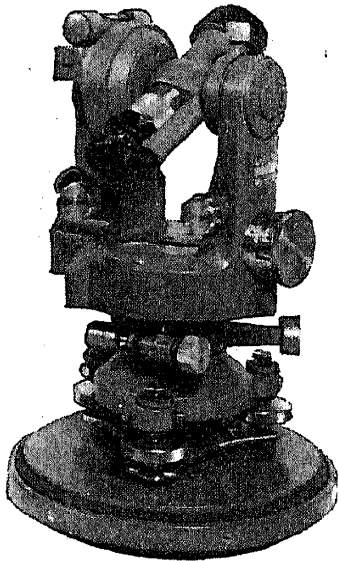



Abb. 113. *(Wild.)*

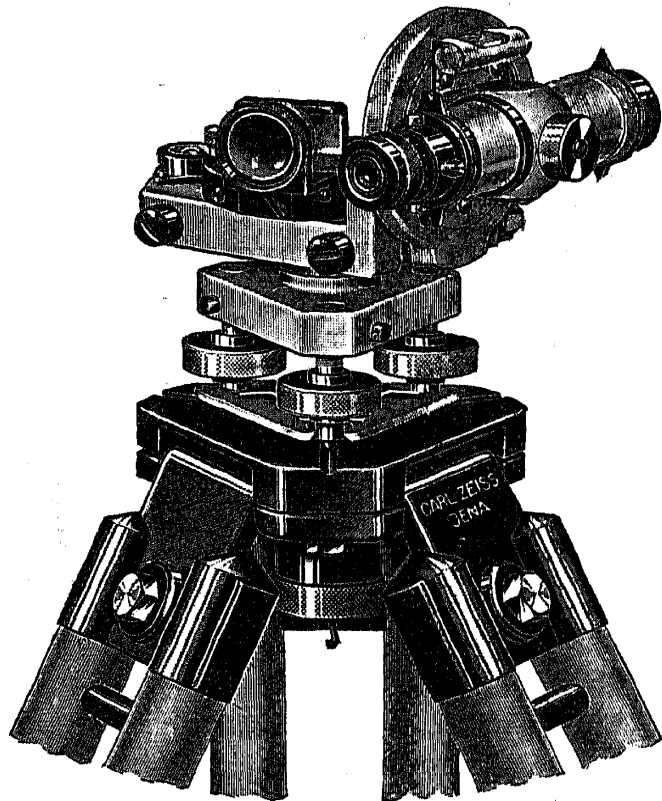



Abb. 114. *(Zeiß.)*

Als Beispiel für ein Instrument moderner Bauart zeigt die Abbildung 113 den auf der Grundplatte seines Metallbehälters stehenden Bussolentheodolit TO von *Wild,* dessen Kreis im Inneren des Instrumentes auf einer Magnetnadel schwingt. Durch

Abhebung von ihrer Spitze verbindet sich der Kreis mit dem Dreifuß, wodurch das Instrument wie ein Theodolit verwendbar wird. Die Kreisablesung erhält man durch Herstellung der Teilungskoinzidenz mit Hilfe der in der Abbildung am rechten Arm des Fernrohrträgers sichtbaren Trommel des optischen Mikrometers. Auf ihr ist die Feinablesung in Bogenminuten gegeben, während die Groblesung durch die koinzidierenden Gradstriche bestimmt ist.

Das mit der Abb. 114 dargestellte Bussoleninstrument Tachytop von *Zeiß* zeigt die Teilungen der Bussole und des Höhenkreises nebeneinander in dem Gesichtsfeld der links vom Fernrohrokular stehenden Lupe und ermöglicht so die gleichzeitige Ablesung. Für das exzentrische Fernrohr ist keine Höhenklemme vorgesehen, sondern die Einstellung der Höhe nach erfolgt vorerst grob von Hand aus durch Überwindung des leicht zügigen Ganges und hernach durch Betätigung der Höhenfeinschraube.

Auch das mit der späteren Abb. 119 gezeigte Instrument Teletop von *Zeiß* ist für Bussolenmessungen, jedoch untergeordneter Genauigkeit, verwendbar. Seine links vom Fernrohrokular befestigte, gering exzentrische *Schmalcalder*-Bussole wird mit Hilfe eines kippbaren Rundspiegels abgelesen.

Jedes Bussoleninstrument soll die folgenden Bedingungen erfüllen:

1. Hinsichtlich der drei Hauptachsen gelten die gleichen Forderungen wie beim Theodolit.

2. Die unvermeidliche Exzentrizität der Nadelpinne gegen den Kreismittelpunkt wird durch die Zentrierung beider Spitzenablesungen beseitigt. Da die Ablesungsungenauigkeit und die später [22,2] erwähnten Schwankungen des M. M. wesentlich größer sind als der Einfluß der Achsenfehler, beobachtet man im allgemeinen nur in normaler Fernrohrlage.

3. Bei neueren Instrumenten ist das Fernrohr stets zentrisch angeordnet, d. h. seine Zielachse geht durch die Stehachse des Instrumentes. Ältere Instrumente besitzen jedoch oft ein seitliches, d. h. zur Stehachse exzentrisches Fernrohr, so daß für geodätische Zwecke stets in beiden Fernrohrlagen beobachtet werden muß. Strebt man indessen nur eine topographische Genauigkeit an, so wie sie für die Unterlagen zur Herstellung oder Berichtigung und Ergänzung von Karten in den Maßstabsverhältnissen 1 : 2500, 1 : 5000, 1 : 10 000 und kleiner ausreicht, dann sind auch die hiefür vorgesehenen modernen Instrumente, wie z. B. das in Abb. 114 dargestellte Tachytop von *Zeiß*, zur Vereinfachung des Aufbaues, mit einem seitlichen exzentrischen Fernrohr ausgerüstet.

4. Eine zur Stehachse zentrische Bussole ist günstig, aber nicht unbedingt notwendig, da auch bei exzentrischer Pinne die beiden M. M. durch sie bzw. durch die Stehachse praktisch zusammenfallen. Ist das Bussolengehäuse abschraubbar und mit einer angefrästen Zeichen- oder Ziehkante parallel zum Durchmesser 0°—180° versehen, dann kann die spätere Auftragung der gemessenen Richtungen, wie vorhin erwähnt, sehr einfach auch mit der Bussole selbst ausgeführt werden.

5. Das Instrument darf außer seiner Nadel keine anderen magnetisch wirksamen Teile aufweisen. Zur Prüfung löst man den federnden Sprengring am Rand

über dem Glasdeckel, entfernt die Magnetnadel und führt das Instrument um eine andere meßgerecht aufgestellte Bussole nah herum. Bleibt deren Nadel hiebei in Ruhe, dann ist das zu prüfende Instrument unmagnetisch.

6. Die Magnetnadel muß hinreichend magnetisiert sein und reibungsfrei schwingen, d. h. sich rasch und gleichbleibend sicher in den M. M. einstellen. Die Prüfung erfolgt durch mehrmalige Einstellung von gleichmäßig über den Horizont verteilten Zielen bei genauer Ablesung mit Hilfe einer Lupe oder durch mehrmalige Einstellung der gleichen Ablesung und Beobachtung der Fernrohrzielung an einer in passender Entfernung aufgelegten Nivellierlatte.

Als Einschwingungsfehler bezeichnet man den Gesamteinfluß aus dem reinen Fehler der Bussolenablesung und dem durch Lagerreibung und Nadelträgheit entstehenden Einstellungsfehler in den M. M. Wenn bei einem gewöhnlichen Bussoleninstrument mit einem Teilungsintervall von $a = 20'$ unter Zuhilfenahme einer Lupe noch Zehntelintervalle (2′) geschätzt werden, dann darf man mit einem Einschwingungsfehler von etwa $\pm 5'$ rechnen.

Da bei jeder automatischen Zentrierung jene Fehlerquelle ausscheidet, die für gewöhnliche Instrumente in der Nichtgleichzeitigkeit der Beobachtung beider Nadelspitzen begründet ist bzw. auch in der an sich schärferen Beurteilung der Spitzenkoinzidenz gegenüber der Einzelablesung in der Kreisteilung, so ist es selbstverständlich, daß die Verwendung eines Bussolentheodolites TO von *Wild* [37a] oder einer Röhrenbussole zu Theodoliten von *Zeiß* einen geringeren Einschwingungsfehler ergibt und damit zu einer schärferen magnetischen Orientierung führt. Hier wird mit einer reinen Beobachtungsgenauigkeit von 1′—2′ zu rechnen sein, der sich die Schwankungen des M. M. zusätzlich überlagern.

7. Die erforderliche parallele Lage des Kreisdurchmessers 0^0—180^0 mit der u. U. vorhandenen Ziehkante der Bussole und der Zielachse ist bei modernen Instrumenten stets vorhanden. Zur Prüfung werden zwei Nadeln mit Wachskügelchen über den Teilstrichen 0^0, 180^0 am Glasdeckel so genau als möglich aufgesetzt. Bei Zielung über diese Nadeln bzw. entlang der Ziehkante und mit dem Fernrohr, müssen sich an einer etwa 50 m entfernten Wand drei Punkte ergeben, deren Abstände den am Instrument gegebenen entsprechen, mindestens aber mit der Handfläche überdeckbar sind.

22,2 Physikalisch-geodätische Grundlagen der Bussolenverwendung

Die erdmagnetische Kraft[38] ist bestimmt durch die drei Größen Deklination, Inklination und Intensität, deren erste als westliche (negative) Deklination D den Winkel angibt, um den der magnetische Meridian (M. M.) vom astronomischen Meridian (A. M.) desselben Standpunktes P nach Westen abweicht. Legen wir durch P die Parallele G. N. (Geodätisch Nord, Gitternord) zur positiven Abszissenachse eines gegebenen Koordinatensystems, so schließt diese mit dem A. M. die Meridiankonvergenz γ ein [II 2]. Beobachtet man in P durch Ablesung der Bussole den magnetischen Richtungs- (Nord-) Winkel ω (Streichwinkel), so lassen sich aus Abb. 115 die folgenden Beziehungen ablesen:

a) Astronomisches Azimut $a = \omega + D$,

b) Geodätischer Richtungs- (Nord-) Winkel t

$$t = \omega - (\gamma - D) = \omega - N.$$

Dieser Betrag $N = \omega - t$, die sog. Nadelabweichung, ist daher direkt bestimmbar durch Beobachtung von ω für eine Strecke, deren Endpunkte durch Koordinaten gegeben sind, so daß t aus ihnen berechnet werden kann [II 3]. N ist eine Ortsfunktion, wie wir sehen werden, von verhältnismäßig geringer Veränderlichkeit, so daß N in einem noch festzustellenden Vermessungsbereich als Konstante aufgefaßt werden darf [II 35].

Abb. 115.

Die Deklination oder Mißweisung D unterliegt den folgenden zeitlichen Schwankungen:

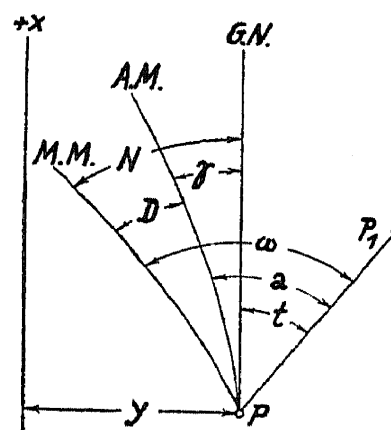
1. Die Säkularvariation ist eine Folge der inneren magnetischen Kräfte der Erde und hängt ab von der innerhalb einer Zeit von 300 bis 3000 Jahren sich vollziehenden Drehung des Magnetfeldes um die Erde. Derzeit nimmt z. B. in Österreich der Absolutwert der Deklination am selben Ort pro Jahr etwa um 6′—8′ ab.

2. Die tägliche Variation ist von Kräften bewirkt, die größtenteils, wie z. B. die Elektronenstrahlung der Sonne, außerhalb der Erde liegen, und ändert sich mit der Häufigkeit der Sonnenflecken, die durch ihre Extremwerte gleichzeitige Extremwerte der täglichen Variation von D verursachen. Sie schwankt in unseren geographischen Breiten zwischen 5′ und 10′, ist vormittags, abends und im Winter am kleinsten, mittags (14 Uhr) und im Sommer am größten. Als günstigste Beobachtungszeit für Bussolenverwendung ergibt sich daher Frühjahr bzw. Herbst bis etwa 11 Uhr und ab 15 Uhr.

3. Sprunghafte Variationen sind plötzliche unvorhersehbare Änderungen des normalen Variationsablaufes und haben ihre Ursache in Lageverschiebungen der magnetischen Erdpole. Diese sprunghaften Änderungen sind während der Ausführung von Bussolenvermessungen kaum je feststellbar und wirken daher besonders störend. Ihr Auftreten ergibt sich erst nachträglich aus den Aufzeichnungen magnetischer Warten, in denen der Variationsablauf dauernd registriert wird.

Besonders große sprunghafte Variationen bezeichnet man als magnetische Gewitter. Sie treten auf der ganzen Erde gleichzeitig ein, aber mit sehr verschiedenen Amplituden, sind im allgemeinen unauffällig und werden erst bei der Auswertung durch nicht erklärbare Widersprüche erkannt.

Bei atmosphärischer Gewitterstimmung sind Bussolenbeobachtungen für Vermessungszwecke untauglich und daher einzustellen. Magnetisch wirksame Gegenstände müssen umgangen werden, und zwar schon in den nachfolgenden Entfernungen, wenn man die Ablenkungsfehler nur kleiner als 10′ halten will[38e]:

Hochspannungsmast aus Stabeisenkonstruktion von 20 m Höhe	40 m,
gußeiserne Laternenmasten von 5 m Höhe	15 m,

Gartenzäune aus Drahtgeflecht mit eisernen Stützen 10 m,
eingleisige Eisenbahnlinien, Mindestabstand 70 m,
zweigleisige Eisenbahnlinien, Mindestabstand 100 m.

Streuströme, d. h. elektrische Stromentweichungen[39], wie insbesonders die Unterschreitung von Starkstromleitungen (vor allem solchen, die Gleichstrom führen), sind unter allen Umständen zu vermeiden.

Magnetische Anomalien sind ortsgebundene Störungen[40] der magnetischen Elemente, die z. B. durch magnetisch wirksame Gesteinsschichten verursacht werden und die Bussolenmessung u. U. vollständig unmöglich machen. Das größte österreichische Störungszentrum liegt bei Mallnitz, wo die Deklination vom Normalwert um rund 11° abweicht[41].

Der Verlauf der Isogonen (Linien gleicher magnetischer Deklination) wurde für den Zeitpunkt 1930,0 in Österreich durch eine erdmagnetische Vermessung (E M V) auf 110 Punkten entwickelt. Im Vergleich mit einer ähnlichen Darstellung für die Österreichisch-Ungarische Monarchie durch *Liznar* (ehemals Professor für Meteorologie an der Hochschule für Bodenkultur) mit dem Zeitpunkt 1890,0 wurde für das Bundesgebiet Österreichs folgendes festgestellt[42].

In der Zeit von 1890,0—1930,0 ergab sich eine Säkularvariation in Deklination zwischen 4° 59′ und 5° 17′, also ein Mittelwert von 5° 08,8′, und daher als mittlere jährliche Variation der Betrag von — 7,7′. Diese Änderung ist im Nordwesten Österreichs mit 7,8′ etwas größer als im Südosten mit 7,1′.

Die Bezugstation der österreichischen erdmagnetischen Vermessung: Auhof im Lainzer Tiergarten (Hütteldorf bei Wien) registrierte die folgenden Deklinationen (bis zur Zerstörung durch Kriegshandlungen 1945):

1930,5: — 4° 02,5′, 1935,5: — 3° 16,7′, 1940,5: — 2° 35,7′,
1945,0: — 2° 00,4′

und für fünfjährige Zeitintervalle ergeben sich die nachstehenden Mittelbeträge der jährlichen Deklinationsänderung in der Bezugstation Auhof:

1930—1935: + 9,2′, 1935—1940: + 8,2′, 1940—1945: + 7,9′.

Es ist vor allem zu erkennen, daß sich der Absolutbetrag der jährlichen Deklinationsänderung im betrachteten Zeitraum um etwa 0,2′—0,1′ verringert.

Wenn man aus den Beobachtungen von 1930—1942, die für 10 erdmagnetische Warten vorliegen, den Verlauf der westlichen Deklination ableitet, so ergibt sich für die Station Wien-Auhof die folgende Darstellung für den Absolutwert[43]:

$$D \text{ (westlich)} = 3^0\,08{,}56' - 8{,}528'\,t + 0{,}0567'\,t^2 - 0{,}364' \sin\frac{360^0}{n}\,t$$
$$- 0{,}861' \cos\frac{360^0}{n}\,t.$$

Hier bedeutet t die seit 1936,5 verstrichene Zeit, ausgedrückt in Jahren, und $n = 11$ die mittlere Sonnenfleckenperiode.

Die aus der obigen Formel berechneten westlichen Deklinationen, nämlich

1948,0: $1^0\,37{,}1'$, 1949,0: $1^0\,30{,}0'$, 1950,0: $1^0\,23{,}3'$

stimmen verhältnismäßig gut mit den Ergebnissen

1948,0: $1^0\,43{,}5'$ 1949,0: $1^0\,37{,}4'$, 1950,0: $1^0\,31{,}5'$,

der folgenden Formel überein, die von *Toperczer*[44] aus den bis 1945 verfügbaren Beobachtungen auf 5 mitteleuropäischen magnetischen Observatorien abgeleitet wurde, nämlich

$$D = -3{,}352^0 + 0{,}147^0\,(t - 1935) - 0{,}00168^0\,(t - 1935)^2$$
(negatives D = westliche Deklination).

Unter der Voraussetzung eines weiterhin stetigen Ablaufes der Säkularvariation darf vorausgesagt werden, daß für W i e n etwa mit Anfang 1964 die derzeit negative, d. h. westliche, Deklination in eine positiv-ostwärtige übergehen k a n n, denn aus der ersten Formel ergeben sich die folgenden, allerdings beträchtlich weit extrapolierten Werte:

1963,5: D (westlich) = + 0,4′, 1964,0: D (westlich) = — 2,2′.

Nach der zweiten Formel indessen wird die von Osten her vorrückende Agone (Isogone Null) W i e n nicht überschreiten, denn die Formelergebnisse erreichen in dem Zeitpunkt 1978/1979 den Grenzwert $D = -8{,}2'$ über den folgenden Verlauf

1975,0: — 9,6′, 1978,0: — 8,2′, 1979,0: — 8,2′, 1980,0: — 8,3,
1985,0: — 12,1′, 1990,0: — 20,9′.

Von dem westlichsten Punkt B r e g e n z der E M V 1930,0 zu dem ostwärtigsten Punkt H a i n b u r g ergibt sich für den geographischen Längenunterschied von $7^0\,13{,}6'$ eine Deklinationsänderung von $3^0\,17{,}5'$. Mit jeder Längenminute Ostbewegung sinkt der Absolutbetrag der magnetischen Deklination daher um 0,46′ bzw. es verringert sich der Absolutbetrag der Deklination in Ö s t e r r e i c h um etwa 1′, wenn man gegen Osten um 2,2 Längenminuten fortschreitet, was in der mittleren geographischen Breite Österreichs ($\varphi_m = 47^0\,45'$) einer Entfernung von ungefähr 2,7 km entspricht.

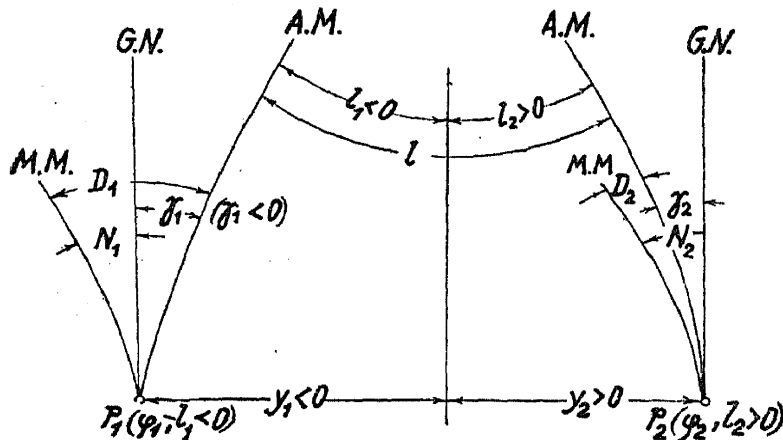
Wir wollen nun noch feststellen, wie sich bei diesen Verhältnissen die N a d e l a b w e i c h u n g $N = \gamma - D$ von zwei Punkten

P_1 (φ_1, l_1), P_2 (φ_2 l_2) ändert, die mit dem Längenunterschied $l = l_2 - l_1$ auf demselben Parallelkreis $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$ liegen (Abb. 116).

Für sphärische Rechnung gilt $\gamma = l \sin \varphi$, so daß (siehe auch [22,32]) $N_1 = \gamma_1 - D_1 = l_1 \sin \varphi - D_1$, $N_2 = l_2 \sin \varphi - D_2$, $N_2 - N_1 = l \sin \varphi - (D_2 - D_1)$.

Rechnen wir jenen Wert von l, dem ein Unterschied $N_2 - N_1 = 1'$ entspricht, so ergibt sich mit den vorigen Unterlagen ein Betrag $l \doteq 3{,}6'$.

Abb. 116.

Bei einer Ostbewegung von 3,6 Längenminuten (entsprechend etwa 4,5 km) ändert sich daher die Nadelabweichung im Bundesgebiet Österreichs normalerweise um rund 1'. Beachtet man, daß der früher erwähnte Einschwingungsfehler einer abgelesenen magnetischen Nordrichtung ungefähr $\pm 5'$ betragen kann, so darf für gewöhnliche Zwecke die Nadelabweichung in einem Gebiet von etwa 20 km Durchmesser als konstant angenommen werden, weil ihre tatsächliche Änderung durch die Beobachtungsfehler überdeckt ist.

Für die genauere Auswertung von magnetischen Richtungsmessungen wird man mindestens in den An- und Abschlußpunkten der Bussolenzüge den Betrag $N = \omega - t$ bestimmen und einen beobachteten größeren Unterschied bei der zeichnerischen Verarbeitung unter Umständen, bei Berechnung der Züge [II 36] aber auf jeden Fall in entsprechender Weise berücksichtigen[45].

22,3 Bussolenvermessung

In einem Gebiet, das die eben angegebene Größe nicht überschreitet, sowie bei günstiger Beobachtungszeit[46], dürfen wir die magnetischen Meridiane der Instrumentenstandpunkte als praktisch parallel verlaufend annehmen. Die Richtungsmessung auf einem Standpunkt wird nach meßgerechter Aufstellung des Instrumentes im allgemeinen nur in der Fernrohrlage I ausgeführt. Das zentrierte Mittel aus den Ablesungen beider Spitzen der eingeschwungenen und ruhig liegenden Nadel, die bei gewöhnlichen Bussoleninstrumenten oder -theodoliten nach der Bauart der Abb. 105, 112 immer mit einer Lupe betrachtet werden soll, gilt als magnetischer Nordwinkel (Streichwinkel) ω_{12} der eingestellten Richtung von Punkt 1 nach

Punkt 2 (unter der Voraussetzung, daß die Bedingung 7. von [22,1] erfüllt ist).

In besonders wichtigen Standpunkten, wie etwa dem Anschluß- und Abschlußpunkt eines Zuges, ist die Orientierungsrichtung in beiden Fernrohrlagen womöglich sogar mehrmals zu beobachten.

22,31 Aufnahmeverfahren

Bei der Vermessung eines eingehängten Bussolenzuges mit dem sog. Springstandverfahren[47] (Abb. 117) wird, nach im obigen Sinn verschärfter Beobachtung der Orientierungsrichtung AO_1, der erste Zielpunkt 1 (wie hinfort überhaupt) nur mehr in der Fernrohrlage I eingestellt, der magnetische Nordwinkel ω_{A1} abgelesen und die Strecke $\overline{A1} = s_1$ (meist durch optische Distanzmessung [25,2]) ermittelt, wodurch der Punkt 1 festgelegt ist.

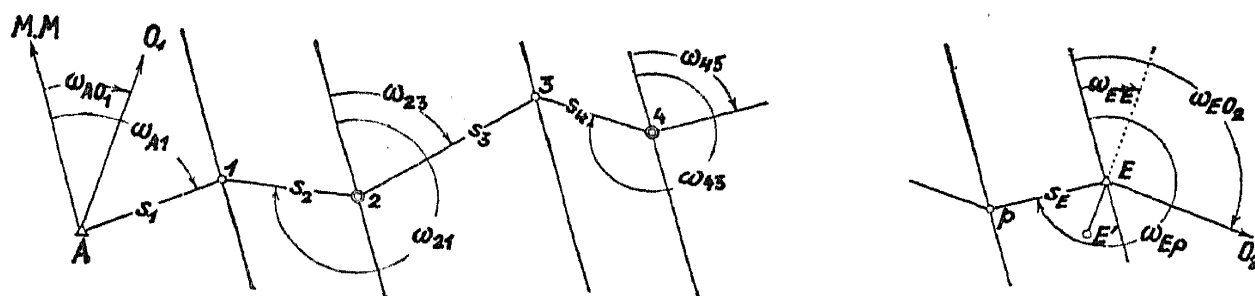



Abb. 117.

Nach Klemmung der Nadel überspringt man den Punkt 1 und überträgt das Instrument in den entsprechend gewählten Punkt 2, wo erst nach meßgerechter Aufstellung die Nadel gelüftet wird. Damit sie voll einschwingen kann, mißt man zuerst die Strecke s_2 und erhält dann durch Beobachtung beider Nadelenden den Nordwinkel ω_{21}. Das Zielzeichen (Nivellierlatte) ist unterdessen in den Punkt 3 gebracht worden, so daß die Weitermessung in ähnlicher Weise rasch vonstatten geht.

Im Endpunkt des Zuges wird nach der Bestimmung der letzten Zugstrecke s_E bzw. ihres magnetischen Nordwinkels ω_{Ep} die Abschlußrichtung EO_2, wieder verschärft in beiden Fernrohrlagen, mit ω_{EO_2} beobachtet.

Die Einbeziehung von Detailpunkten in der näheren Umgebung des Zuges erfolgt durch Polaraufnahme aus den Standpunkten des Instrumentes. Waren sehr viele Nebenpunkte zu beobachten, dann empfiehlt es sich, vor der Weiterführung des eigentlichen Zuges nochmals die Richtung der letzten Seite zu beobachten, um hiedurch die unveränderte Instrumentenlage zu überprüfen.

Die in [II 35] dargestellte Fehlerfortpflanzung in Bussolenzügen führt als Hauptergebnis zur Forderung nach kurzen Seiten von etwa 50 m und kann für gegebene m. F. der Richtungs- und Distanzmessung zur Entscheidung über die Zulässigkeit der bei der Auswertung erhaltenen Abschlußwidersprüche benützt werden.

Im Sinne der oben geschilderten Arbeitsweise entsteht zu dem in Abb. 117 dargestellten Zugverlauf die im folgenden Beispiel enthaltene Feldbuchniederschrift der Beobachtungsergebnisse.

Zug: von *A* nach *E*, Instr.: $C = 100.0$, $c = 0{,}33$ m

Sicht		Bussole				Latte dm o m u	+ Höhen ∢ / — Tiefen ∢			L = u—o cm	
		Nord		Süd							
von	nach	°	′	°	′						
1	2	3		4		5	6			7	8
A	O_1	32 32	16 18	212 212	20 20						
A	1	86	46	266	46	22,83 25,00 27,17	+	4	16	43,4	
2	1	291	14	111	18	22,97 25,00 27,03	—	6	42	40,6	
	3	82	56	262	54	21,57 25,00 28,43	+	3	38	68,6	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
E	*P*	269	30	89	26	18,01 20,00 21,99	—	2	40	39,8	
E	O_2	124 124	12 12	304 304	14 12						

22,32 Verfahren zur Auswertung und Darstellung der Bussolenmessungen

Wenngleich man in der Praxis sehr oft die Aufnahmeergebnisse unterschiedslos zeichnerisch weiterverarbeitet, ist es insbesonders bei einer sehr dichten Vermessung zu empfehlen, vorerst einige tragende Hauptzüge rechnerisch festzulegen und erst nachher die

verbindenden Nebenzüge durch unmittelbar zeichnerische Auftragung einzuschalten.

Bei der rechnerischen Auswertung [II 8] wird vor allem die Nadelabweichung für die Anschlußpunkte bestimmt, nämlich (Abbildung 117): $N_A = \omega_{AO_1} - t_{AO_1}$, $N_E = \omega_{EO_2} - t_{EO_2}$. Ist der Unterschied $N_E - N_A$ nur klein, bis zum in [22,2] angegebenen Ausmaß des Einschwingungsfehlers der Nadel, dann rechnet man weiterhin alle geodätischen Richtungswinkel $t = \omega - N$ mit dem Mittelwert $N = \frac{N_E + N_A}{2}$. Bei größerem Unterschied $(N_E - N_A)$ werden innerhalb von gleichen Ordinatenabschnitten etwa um 1′ wachsende Werte N_i verwendet, oder aber man bestimmt aus dem Anwachsen von $N_E - N_A$, u. U. auch graphisch, die den einzelnen Zugpunkten vermutlich zukommenden Reduktionsbeträge N_i zur Verwandlung der beobachteten magnetischen Nordwinkel ω in geodätische Richtungswinkel t für die nun anschließende und nach [II 8] auszuführende Berechnung des Zuges.

Zur Vermessung mit Bussoleninstrumenten schreibt auch die Meßtischinstruktion[48] der Katastralaufnahme [II 2] das angegebene Springstandverfahren vor, u. zw. bei möglichst gleichen Seiten von höchstens 100 m Länge, die nur ausnahmsweise überschritten werden darf. Bleibt die Anschlußdifferenz $W = \overline{EE'} = \sqrt{w_x^2 + w_y^2}$ des berechneten Endpunktes E' (Abb. 117) innerhalb der aus Tabelle VI d der Instruktion zu entnehmenden Fehlergrenze, dann ist die Aufteilung der Koordinatenwidersprüche w_x, w_y proportional zu den Längen der Zugseiten auszuführen.

Zulässige Anschlußdifferenzen in Metern
(Meßtischinstruktion, Tab. VI d).

Auszug aus der Tabelle, n = Anzahl der Zugseiten von der durchschnittlichen Länge s in Metern.

n \ s	40	60	80	100	120	140
5	0,9	1,2	1,5	1,8	2,0	2,3
10	1,2	1,6	2,0	2,4	2,7	3,1
20	1,5	2,1	2,6	3,2	3,7	4,3
30	1,8	2,5	3,1	3,8	4,5	5,2
40	2,0	2,8	3,6	4,4	5,1	·
50	2,2	3,1	4,0	4,8	·	·

Bei ungünstigen Messungsverhältnissen dürfen die Tabellenwerte um 25 Prozent erhöht werden.

Nach Auftragung der Zugpunkte mit den berechneten Koordinaten ist die u. U. durch Polaraufnahme erfolgte Detaildarstellung anzuschließen.

In dem nun vorliegenden Netz von Hauptzügen können die Verbindungszüge nach dem folgenden Verfahren unmittelbar am Plan aufgetragen werden, oder aber man führt die Kartierung und graphische Ausgleichung auf einem über dem Plan befestigten Pauspapier aus und sticht erst die Ergebnisse auf den Plan durch. Dieser Vorgang mindert u. U. etwas die Genauigkeit, ist aber für die Sauberkeit des Planes zuträglicher.

Zur Auftragung kann man vorteilhaft die bei der Aufnahme selbst verwendete Bussole benützen, wenn diese vom Instrument abnehmbar ist und eine zur Zielachse bzw. zum Durchmesser 0°—180° parallele Ziehkante aufweist [22,1].

Nach ihrem genauen Anlegen an die Orientierungsrichtung wird der Plan verdreht, bis die Nadel auf den beobachteten Wert ω_{AO_1} zeigt. Nun prüft man, wieder bei sorgfältigem Anlegen der Ziehkante, die Übereinstimmung der Nadelablesung mit der Feldbeobachtung im Abschlußpunkt E. Merkbare, aber noch zulässige, d. h. ein Teilungsintervall von z. B. $a = 20'$ nicht überschreitende Abweichungen können daraufhin, durch zusätzliche Feindrehung des Planes, auf einen Mittelwert verringert werden.

Nach sicherer Festlegung des Planes in dieser Lage beginnt die eigentliche Auftragung mit der Anlegung der Ziehkante in A und Verdrehung der Bussole, bis sie die zentrierte Ablesung ω_{A1} (Feldbuchbeispiel zu [22,31]: $\omega_{A1} = 86^0\,46'$) anzeigt. Auf dem Halbstrahl $\overline{A\,1}$ entsteht Punkt 1 durch Abtragung der Strecke s_1. Da der magnetische Nordwinkel ω_{12} in den Beobachtungen unmittelbar nicht aufscheint, aber durch die Ablesung der Südspitze im Punkt 2 gegeben ist, wird die Ziehkante durch den Punkt 1 so weit verdreht, bis die Nadel auf diesen Wert zeigt (Feldbuchbeispiel: Süd$_{21} = 111^0\,16'$). Durch Abtragung der Strecke s_2 ergibt sich Punkt 2. In diesem stellt man die Bussole auf $\omega_{23} = 82^0\,55'$ ein, trägt s_3 ab und arbeitet in dieser Weise fort, bis man schließlich den Endpunkt E' erhält. Er wird im allgemeinen, wegen der Fehler während der Beobachtung und Auftragung, mit dem Planpunkt E nicht zusammenfallen.

Als zulässigen Widerspruch $W = \overline{EE'}$ darf man etwa den doppelten Betrag der in Tabelle VI d der Meßtischinstruktion (vorhin auszugsweise) angegebenen Werte ansehen. Zur zeichnerischen Aufteilung des Widerspruches W wird der Zug gestreckt (Abb. 118) und die jedem Punkt i entsprechende Verschiebung v_i, anteilmäßig zu W, entnommen. Die Richtung der Verschiebung ist gleichbleibend zur Richtung $\omega_{E'E}$ mit der Bussole einzustellen und erst die verbesserten Punktlagen sticht man auf den Plan durch.

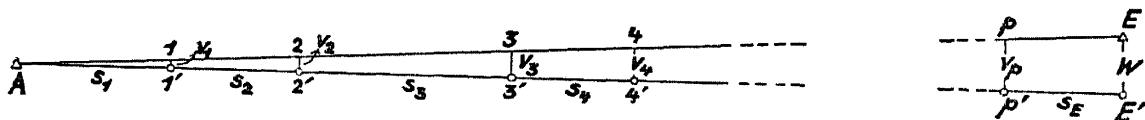



Abb. 118.

Ähnlich verläuft die Arbeit mit einem Transporteur und Parallelverschieber [7] (Abb. 9) oder einem Strahlenzieher mit Parallelführung, etwa nach Art des Tachygraphen von *Schlesinger*[49].

Beim ersteren Gerät wird der Transporteur vorerst auf die Ablesung ω_{AO_1} eingestellt, seine Linealkante an die Orientierungsrichtung $\overline{AO_1}$ gelegt und dann mit dem Parallelverschieber geklemmt. Ergibt sich im Abschlußpunkt ein Widerspruch, so ist entweder die Transporteurlage ausgleichend zu ändern oder man berücksichtigt den Widerspruch durch entsprechende Verbesserung der einzustellenden Ablesungen des Feldbuches. Besonders zweckmäßig ist eine von *Fromme* (W i e n) erzeugte Art des Transporteurs mit Parallelverschieber, bei der dessen Klemmung mit dem Ringrahmen des Transporteurs fest und unverändert bleibt, während die Kreisteilung im Rahmen fein verdrehbar und klemmbar ist.

Bei Benutzung des T a c h y g r a p h e n von *Schlesinger* befestigt man den Führungsrahmen am Zeichenbrett, legt das Lineal an die Orientierungsrichtung, dreht nachher den Kreis auf die Soll-Ablesung und klemmt ihn. Ein bei der Prüfung der Orientierung sich ergebender Widerspruch wird durch Feindrehung des Kreises entsprechend berücksichtigt und nach seiner endgültigen Festklemmung verläuft die Arbeit so wie vorhin dargestellt.

Kartiert man mit einfachsten Hilfsmitteln, nämlich nur mit Transporteur ohne Parallelverschieber, so ist die Verwendung von karriertem (Millimeter-) Pauspapier zu empfehlen, da dann die Darstellung der parallelen magnetischen Meridiane durch das eng-abständige Liniensystem ein rasches und hinreichend genaues Orientieren der Null-Linie des Transporteurs erlaubt.

Für die Aufsuchung grober Winkel- bzw. Richtungs- und Streckenfehler gelten ähnliche Richtlinien wie für die Aufdeckung solcher Fehler bei Theodolitpolygonzügen [II 8], doch ist das Gelingen dieser Arbeit, wegen der meist zahlreichen Seiten, sehr viel mehr in Frage gestellt als beim Theodolitzug.

Zur Ausnützung der günstigen Fehlerfortpflanzung bei Bussolenpolygonzügen [II 35] ist es insbesondere dem Anfänger zu empfehlen, nicht nur die Beobachtungen mit größter Sorgfalt auszuführen, sondern auch die Auftragearbeit mit so entsprechender Schärfe zu erledigen, daß sie der Genauigkeit der Beobachtungen entspricht.

Bussolenvermessungen werden nur dann mit Recht als unzuverlässig gelten dürfen, wenn sie fehl am Ort sind, d. h. wenn sie für Arbeiten verwendet werden, die Theodolitvermessung erfordern. Allzu häufig aber werden an sich gute und zweckentsprechende Bussolenvermessungen deshalb als minder genau bezeichnet, weil erst durch eine flüchtige zeichnerische Ausarbeitung Fehler vorgetäuscht werden, die nicht den Beobachtungen anhaften, sondern nur durch die mangelhafte Auftragung entstehen.

Schließlich sei noch erwähnt, daß man den Betrag der Deklination D in einem Vermessungsgebiet verhältnismäßig einfach auf folgende Weise bestimmen kann. Durch Vergleich des beobachteten magnetischen Nordwinkels ω für eine durch Koordinaten festgelegte Strecke mit dem geodätischen Richtungswinkel t ergibt sich im Standpunkt die Nadelabweichung $N = \omega - t$. Zufolge [22,2] ist aber auch $N = \gamma - D$, wo die Meridiankonvergenz γ in praktisch hinreichender Näherung [II 2] zu berechnen ist, aus

$$\gamma'' \doteq \frac{y}{R} \varrho'' \operatorname{tg} \varphi .$$

Zur a. a. O. erwähnten mittleren geographischen Breite φ = 47° 45′ von Österreich findet man den *Gauß*schen Krümmungsradius $R = \sqrt{MN}$ mit $lg\,R = 6{,}804\,7804$ und erhält damit

$$\gamma'' \doteq 0{,}0323''\, y \operatorname{tg} \varphi .$$

Für die Ordinate y des Standpunktes ist das Vorzeichen wohl zu beachten, und bei konformen Koordinaten ist für y nur der tatsächliche Abstand vom Bezugsmeridian zu nehmen. Die geographische Breite φ des Standpunktes darf mit hinreichender Genauigkeit aus einer topographischen Karte bestimmt werden.

Als Schlußergebnis erhalten wir $D = \gamma - N$.

Literaturhinweise zu Abschnitt E [17]—[22]

1a *Hartner-Doležal*, N. G. I 1, § 38.
1b *Jordan-Eggert*, V. K. II 1, §§ 13—16.
1c *Näbauer*, V. K., S. 42, 66—70.
2 Österr. Verein für Vermessungswesen, Behelf zur Fachprüfung für den höheren technischen Vermessungsdienst, Heft 5, XVII Neuvermessung, Wien 1949, S. 20.
3a Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Dienstanweisung für die Neutriangulierung des Gebietes von Österreich. Feldarbeiten (D. V. 3), 2. Auflage, Wien 1935, S. 131.
3b a. a. O. 2, Heft 4, XVI Triangulierung, S. 13.
3c a. a. O. 1 b, S. 327.
3d a. a. O. 1 c, S. 40.
4 *König, A.*, Die Fernrohre und Entfernungsmesser, 2. Auflage, Berlin 1937, Julius Springer, S. 143.
5 *Boßhardt, R.*, Optische Distanzmessung und Polarkoordinatenmethode, Stuttgart 1930, Wittwer, S. 28.
6 a. a. O. 4, S. 144; *Aregger*, Der reduzierende Doppelbildtachymeter *Kern*, Schweiz. Z. f. V., 1932, S. 14.
6a *Berroth, A.*, Ein Hilfsmittel für äußerst genaue Winkelmessungen, Z. f. I., 1934, Heft 3.
7 a. a. O. 4, S. 146.
7a *Berchtold, E.*, Die *Wild*sche Kreisablesung an modernen Theodoliten, Öst. Z. f. V., 1936, Heft 3.
8 a. a. O. 1 b, S. 328; a. a. O. 1 c, S. 79; Druckschriften *Wild-Zeiß*.
9 Siehe Abschnitt D Literaturverz., a. a. O. 22.
9a *N. N.*, Universal-Theodolit *Wild* T 2, Modell 1937, Schweiz. Z. f. V., 1938, Heft 1.
10a a. a. O. 1 a, S. 406.
10b a. a. O. 1 b, S. 347.
10c a. a. O. 1 c, S. 71.
11 a. a. O. 1 b, § 81.
12 a. a. O. 1 b, S. 362.
13 a. a. O. 1 a, S. 464; a. a. O. 1 b, S. 357.
14a a. a. O. 1 a, S. 407.
14b a. a. O. 1 b, § 76.
14c a. a. O. 1 c, S. 73.
15 a. a. O. 1 b, S. 240.
16 *Jordan-Eggert*, V. K. III 1, S. 438.
17 a. a. O. 16, § 96.

18 a. a. O. 16, § 5, § 6.
19 a. a. O. 16, S. 58.
20 a. a. O. 1 a, § 43, S. 435; a. a. O. 1 b, § 84, § 88; a. a. O. 1 c, S. 81; a. a. O. 16, § 8.
20a *Bachmann, W. K.*, Der neue Repetitionstheodolit *Wild* T 1, Z. f. V., 1941, Heft 13.
21 *Schneider, W.*, Die Arbeiten *O. v. Grubers* auf dem Gebiete der Geodäsie, L. u. L., Nr. 26, 1943.
22 a. a. O. 3 a, S. 183—186, 192—196, 206—208, 214—216.
23 a. a. O. 3 a, S. 111, 118, 132.
24 a. a. O. 1 b, S. 373; a. a. O. 1 c, S. 85.
25 a. a. O. 3 a, S. 7.
26 a. a. O. 3 a, S. 112.
27 *Jordan-Eggert*, V. K. I, S. 202, 325.
28 a. a. O. 27, S. 329.
29 a. a. O. 3 a, S. 117—127.
30 *Wild, H.*, Dr. h. c., Die neuere Entwicklung einiger geodätischer Instrumente. Aus Festschrift: „Vermessung-Grundbuch-Karte", Zürich 1939.
31 *Baeschlin, C. F.*, Compensation simplifée d'une station observée d'après la „Méthode des secteurs". Schweiz. Z. f. V., 1925, S. 49; *Zoelly*, La méthode des secteurs en triangulation, Schweiz. Z. f. V., 1925, S. 30.
32 *Kneissl*, Betrachtungen zur Horizontalwinkelmessung unter besonderer Berücksichtigung der Sektorenmethode, in: Mitt. R. f. L., 1941, S. 249.
33 *Jordan*, Grundzüge der astronomischen Zeit- und Ortsbestimmung, Berlin 1885, Springer, S. 45; a. a. O. 1 c, S. 89; *Baeschlin, C. F.*, Ableitung einer Formel für den Richtungs- und Höhenwinkelfehler unter gleichzeitiger strenger Berücksichtigung von Kollimationsfehler und Horizontalachsenschiefe, Schweiz. Z. f. V., 1933, S. 5.
34a a. a. O. 1 a, S. 544.
34b *Jordan-Eggert*, V. K. II 2, S. 127.
34c a. a. O. 1 c, S. 87.
35 a. a. O. 1 a, S. 537; a. a. O. 34 b, S. 127.
36 a. a. O. 1 a, S. 213; a. a. O. 34 b, S. 171.
37 a. a. O. 1 a, S. 501; a. a. O. 34 b, S. 323; a. a. O. 1 c, S. 91.
37a *Rohrer, H.*, Versuchsmessungen mit *Wild*-Bussoleninstrumenten, Öst. Z. f. V., 1934, Heft 5.
38a *Trabert*, Lehrbuch der kosmischen Physik, Leipzig 1911. Teubner, S. 594.
38b *Ebert*, Lehrbuch der Physik, Band II, Teil I (Die elektrischen Energieformen), Berlin 1920, Walter de Gruyter, S. 412.
38c *Berliner*, Lehrbuch der Physik, Berlin 1924, Springer, S. 405.
38d *Angenheister*, Handbuch der Physik, Berlin 1926, Kapitel 5.
38e *Schweizer, H.*, Erfahrungen mit Bussolentheodoliten, Schweiz. Z. f. V., 1939, Heft 2—4.
39 a. a. O. 38 b, S. 424.
40 *Berliner-Scheel*, Physikalisches Handwörterbuch, Berlin 1932, Springer, S. 1193.
41 *Schedler-Toperczer*, Die Verteilung der erdmagnetischen Deklination in Österreich zur Epoche 1930.0 in: Publikation Nr. 138 der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien 1936, Gerold, S. 16.
42 a. a. O. 41, S. 19.
43 *Burmeister*, Der voraussichtliche Säkular-Verlauf der magnetischen Deklination im mittleren Europa während der nächsten Jahre in: *Gerlands* Beiträge zur Geophysik, Leipzig 1944, S. 147; *Burmeister*, Grundlagen und Bearbeitung der Karte der magnetischen Mißweisung für die Epoche 1945.0 in: *Gerlands* Beiträge zur Geophysik, Leipzig 1944, S. 188—190.
44 *Toperczer*, Die säkulare Veränderung der erdmagnetischen Elemente in: Jahrbuch 1947 der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik;

Toperczer, Der Zustand des magnetischen Feldes in Österreich zur Epoche 1945.0 in: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Jahrgang 93, Wien 1948, Springer, Heft 12.
45 *Staub, G.*, Die magnetische Deklination als vermessungstechnisches Orientierungsmittel, Schweiz. Z. f. V., 1947, Heft 10, 11.
46 *Staub, G.*, Die Bewegung des erdmagnetischen Feldes, Schweiz. Z. f. V., 1948, Heft 6; Die täglichen Schwankungen der Magnetnadel beim Topographieren und beim Bussolenzug, Schweiz. Z. f. V, 1948, Heft 10.
47a *Hartner-Doležal*, N. G. I 2, S. 919.
47b a. a. O. 34 b, S. 326.
48 Instruktion für Meßtisch-Aufnahmen, herausgegeben vom k. k. Finanzministerium, Wien 1907, S. 79.
49 a. a. O. 1 a, S. 598.

ABSCHNITT F

Instrumente und Verfahren der Entfernungsmessung

23 Allgemeiner Überblick

Die unter dem Winkel β geneigte Strecke zwischen den beiden Punkten A, E, die auf der physischen Erdoberfläche in geeigneter Weise vermarkt sind, nennen wir schiefe Entfernung (Schrägentfernung) s. Durch Reduktion auf den Messungshorizont erhält man die waagrechte Entfernung $d = s \cos \beta$. Da die Projektionsebene für die Grundrißaufnahme in der Niveaufläche in Meereshöhe [1] angenommen ist, geht die waagrechte Entfernung d im Messungshorizont (Seehöhe H) durch Anbringung der Seehöhenreduktion $\delta_H \cdot d$ [24] [II 8] über in die waagrechte Entfernung d_0 im Meereshorizont, wobei $d_0 = d - \delta_H \cdot d$.

Sind die beiden Punkte A, E fehlerfrei durch ihre Koordinaten in einer bestimmten Abbildungsart (z. B. winkeltreue *Gauß-Krüger*sche Projektion [II 2] festgelegt, so erhält man durch Lösung der ersten Hauptaufgabe der Koordinatenrechnung [II 3] vorerst den durch die gewählte Projektionsart verzerrten Abstand L, der nach Verbesserung um den Betrag der Projektionsverzerrung $\delta_L \cdot L$ [II 8] übergeht in $L_0 = L - \delta_L \cdot L$.

Wenn die Messung von s und β bzw. die Rechnungen zur Bestimmung von d_0 fehlerfrei ausgeführt worden sind, dann muß sein $d_0 = L_0$, soferne für beide Größen die gleiche Längeneinheit in Geltung ist.

Die Seiten jedes Festpunktnetzes sind durch trigonometrische Entwicklung aus mindestens einer Grundlinie (Basis) abgeleitet, die

mit größtmöglicher Genauigkeit (etwa 1 : 10^6) direkt gemessen wird[1]. Die Länge der hiezu verwendeten Meßmittel bestimmt man durch genauesten Vergleich mit dem betreffenden Normalmaß (z. B. der nationalen Meterprototype), wodurch, im Sinne der Angaben von [2], die Einheitlichkeit des Längenmaßes für alle Staaten, die das metrische System angenommen haben, gewährleistet ist.

Während man früher grundsätzlich die Längenbestimmung aller Meßmittel durch direkten Vergleich mit dem gegebenen Normalmaß auf entsprechend eingerichteten Komparatoren[2] vornahm, erreicht man die sehr große Genauigkeit moderner Meßmittel für Grundlinienmessungen nunmehr durch Eichung nach dem Interferenzverfahren von *Väisälä* (1923)[3].

Im Zuge dieses Verfahrens wird die Länge des Meßmittels durch Beobachtung der Interferenzerscheinungen für bestimmte einfarbige Lichtstrahlen zuerst in Wellenlängen ermittelt und dann, mit dieser sehr genau bekannten Wellenlänge, im Metermaß ausgedrückt.

Die verlangte hohe Genauigkeit der Basismessungen veranlaßte früher, insbesondere zur Ausschaltung bzw. Berücksichtigung des Temperatureinflusses, besondere Vorsichtsmaßnahmen und Vorkehrungen, führte zur Entstehung zahlreicher Basismeßapparate[4], verursachte aber trotzdem eine sehr lange Dauer jeder solchen Basismessung.

Erst die von *Benoit* und *Guillaume* (Paris 1898) gefundene Nickelstahllegierung Invar[5] [5], die einen sehr kleinen Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzt, und die Benutzung von solchen 24 m langen Invardrähten bei dem Basismessungsverfahren, das bereits 1880 von *Jäderin*[6] erdacht worden war, ermöglichte sehr rasche Basismessungen von der geforderten hohen Genauigkeit.

Während mit den ältesten Basismeßapparaten (*Brunner, Brunner-Ibañez, Repsold)* (1850—1880) die Genauigkeit von rund 1 : 10^6 bei einer Meßgeschwindigkeit von nur 30—150 m pro Stunde erreicht wurde, stieg diese mit dem später auch in Österreich (Basis von Josefstadt, Böhmen, 1918) verwendeten Apparat von *Bessel* bei den zahlreichen Messungen in der Zeit ab 1834 allmählich von rund 120 m auf 240 m pro Stunde. Mit dem Verfahren von *Jäderin* war um 1930 bei derselben Genauigkeit (1 : 10^6) eine Meßgeschwindigkeit von 1300 m pro Stunde erzielt worden. Durch verschiedene Verbesserungen konnte man etwa um 1937 die Genauigkeit bis auf 1 : 2 · 10^6 steigern. Bei Basismessungen für militärische Zwecke hat sich während des zweiten Weltkrieges mit dem *Jäderin*-Verfahren die mittlere Genauigkeit von 1 : 2 · 10^6 bei einer Meßgeschwindigkeit von rund 2 km pro Stunde ergeben.

Zufolge der gesteigerten Genauigkeit dieses Verfahrens werden moderne Grundlinien (als Vielfache von 240 m)[7] meist mit 2400 m

Länge gemessen und durch ein Basisentwicklungsnetz auf eine Dreieckseite I. *O.* [20,3] übertragen.

Das trigonometrische Netz der österreichischen Katastervermessung ist aus vier mit dem österreichischen Basismeßapparat ermittelten Grundlinien, nämlich bei Wiener-Neustadt (12 km), Wels (15 km), Radautz (Bukowina) (10 km) und Hall in Tirol (6 km), entwickelt worden[8].

Der Unterschied zwischen dem legalen und internationalen Meter[9], nämlich

$$1\,\text{m (international)} = 1\,\text{m (legal)} \cdot 1{,}000\,013\,355,$$

ist für die österreichischen Vermessungsoperate ohne Bedeutung, obwohl den Operaten der Neutriangulierung und Neuvermessung das internationale Meter, der alten Katastervermessung hingegen das legale Meter zugrunde liegt, weil die oben angeführte Differenz von

$$1\,\text{km (international)} = 1\,\text{km (legal)} + 13{,}355\ \text{Millimeter}$$

weit unterhalb der Meßgenauigkeit bei der Grundstückaufnahme liegt.

Durch diese Bemerkungen wurde angedeutet, wie die Längeneinheit in die Seiten des trigonometrischen Netzes und damit in die Koordinatenangaben für die Netzpunkte eingeht. Die sämtlichen Entfernungs- bzw. Höhenmessungen einer an ein solches Netz angeschlossenen Aufnahme können sich immer nur dann (abgesehen von den unvermeidlichen Messungsfehlern) widerspruchsfrei in den gegebenen Netzrahmen einfügen, wenn alle Längenmeßmittel mit derselben Längeneinheit verglichen (geeicht) sind.

Diese geforderte Gleichheit und Konstanz der Längeneinheit wird gewahrt und gesichert durch staatliche Aufsicht der Eichung (Österreich: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) bzw. gesetzliche Festlegung jenes zulässigen Unterschiedes, den die Nennlänge eines Meßmittels gegen seine tatsächliche oder wahre Länge (Soll-Länge) aufweisen darf, damit es für einen bestimmten Zweck verkauft bzw. verwendet werden kann[10].

Je nach Meßmittel und Meßverfahren unterscheiden wir:

1. Unmittelbare (direkte) Entfernungsmessung, wobei die gesuchte Strecke nach ihrer Ausfluchtung (Absteckung) mit Flucht- (Absteck-) Stäben durch direkte Abmessung mit geeigneten Geräten bestimmt wird.

2. Mittelbare (indirekte) Entfernungsmessung, wobei die gesuchte Entfernung aus einer verhältnismäßig kurzen Hilfsstrecke (Basis) und mindestens einem Winkel abgeleitet wird. Zufolge wesentlicher Anwendung einerseits trigonometrischer Sätze

und andererseits optischer Geräte spricht man von trigonometrischer bzw. optischer Entfernungsmessung und wegen der Raschheit dieser Verfahren von Tachymetrie (Schnellmessung).

Die vom verwendeten Gerät (Tachymeter) abhängige Güte der mittelbaren Distanzmessung führt zur Einteilung in gewöhnliche Tachymetrie mit geringerer Genauigkeit und in Präzisions- oder Feintachymetrie mit hoher Genauigkeit der Messungsergebnisse[10a].

Für geodätische Zwecke befindet sich die Basis in Form einer bis zu 4 m langen Latte immer im Zielpunkt, wobei diese Latte entweder mit einer Teilung oder mit Zielmarken versehen ist.

Bei gewöhnlicher Tachymetrie mit Fadenentfernungsmessern entsteht der distanzmessende (parallaktische) Winkel γ durch zwei Striche des Fadenkreuzes, die die Größe des optischen Bildes der Basis abgrenzen.

Ist der distanzmessende Winkel von zwei festen Fäden unveränderlich gegeben, dann wird die Basis durch Ablesung der Lage beider Fäden in der Teilung der Latte bestimmt.

Bei den Tachymetern mit einem festen und einem beweglichen Faden ist der veränderliche parallaktische Winkel nach der dann festen, z. B. durch Zielmarken an der Latte dargestellten Basis mit einem Okularmikrometer meßbar.

Die modernen optischen Entfernungsmesser erzeugen von der im Ziel befindlichen Latte durch Glaskeile [16,4] zwei um den distanzmessenden Winkel gegeneinander versetzte Bilder (Doppelbildtachymeter) und geben die so entstandene Basis entweder durch einfache Ablesung oder verschärfen diese durch Anwendung von optischen Mikrometern [18,252].

Ein wesentliches Kennzeichen der modernen Präzisionstachymetrie ist die Benutzung einer horizontalen Latte zur Vermeidung der Differentialrefraktion, d. h. der Brechungsunterschiede, die für verschieden geneigte Lichtstrahlen bei der Durchdringung der untersten Luftschichten störend auftreten.

Optische Entfernungsmesser, die sogleich die Bestimmung der horizontalen Entfernung ermöglichen, also die Reduktion der Schrägentfernung automatisch durchführen, heißen Reduktionstachymeter.

Für topographische und militärische Vermessung, wo die Aufstellung einer Latte im Zielpunkt unzweckmäßig oder untunlich ist, verlegt man die Basis in das Instrument, und der dann mit seinem Scheitel im Zielpunkt liegende distanzmessende Winkel wird auf geeignete Weise durch das Gerät im Standpunkt ermittelt bzw. in Distanz umgewandelt.

Solche topographische Entfernungsmesser, bei denen man die von ihren Basisenden ausgehenden Strahlen so lange verschwenkt, bis die ihnen entsprechenden beiden Teilbilder des Zieles übereinstimmen, sind Schnittbild- oder Koinzidenztelemeter genannt bzw. Inverttelemeter[11], wenn das eine aufrechte Bild mit dem zweiten verkehrten Bild auf Koinzidenz einstellbar ist.

In allen Fällen bewegt die mit dem Meßvorgang verbundene Verschwenkung eines oder beider Bildstrahlen eine Teilung, die im Augenblick der Bildkoinzidenz unmittelbar die gesuchte Entfernung angibt.

Raumbild- oder Stereotelemeter[12] benutzen das Tiefenunterscheidungsvermögen beim binokularen Sehen [15,3] zur Distanzmessung. Auf zwei Glasplättchen befindet sich, etwa nach Art der Darstellung von Abb. 37 b, eine Reihe von Meßmarken a_1, a_2; b_1, b_2 . . ., die paarweise den Bildern von Raumpunkten A, B, . . in bestimmten Distanzen entsprechen. Von diesen Punkten aus würde man die Basis, d. h. den Abstand der Eintrittspupillen des Gerätes, unter dem zur betreffenden Entfernung gehörigen parallaktischen Winkel γ_A, γ_B erblicken. Durch beidäugige Betrachtung verschmelzen die zusammengehörigen Bildpaare zu Raummarken, die in den passend gewählten runden Entfernungen zu liegen scheinen. Mit dieser Reihe räumlicher Marken kann das Gelände vergleichend abgetastet werden, wobei man die Entfernungen innerhalb der Intervalle einschätzt.

Wenn wir bei einem einzigen Markenpaar durch Änderung ihres Abstandes, d. h. ihrer geometrischen Parallaxe, die zugehörigen binokularen oder stereoskopischen Parallaxen verändern, so entsteht der Eindruck einer im Raum wandernden Marke. Durch ihre Tiefenbewegung, bis zur Koinzidenz mit dem Zielpunkt, wird der in ihm vorhandene parallaktische Winkel indirekt gemessen und — bereits im Distanzmaß ausgedrückt — vom Mikrometer angegeben.

Ist die Basis sehr groß, mit zwei getrennten Winkelmeßgeräten an den Endpunkten (Zweistand-Entfernungsmesser)[13], so wird die Distanzmessung (meist automatisch) wesentlich als trigonometrische Aufgabe gelöst. Telemeter mit Basislängen bis zu 10 m, bei denen von einem einzigen Standpunkt aus beobachtet werden kann, heißen Einstand-Entfernungsmesser.

Einen solchen für topographisch-tachymetrische Zwecke stellt der Distanzmesser Teletop[13a] von *Zeiß* (Abb. 119) dar, der z. B. auch zur Bestimmung von Baumdicken über beträchtliche Entfernungen hinweg verwendet werden kann.

Neben der links angebrachten Bussole befindet sich das Fernrohr und ein Gehäuse für die Aufnahme von auswechselbaren Meßkeilen, die mit den Konstanten 100, 250, 500, 1000 und 2000 zur Verfügung stehen. Verschiebt man den Prismenträger auf dem rechts

abstehenden Basislineal (in neuer Normalausführung 30 cm lang) so weit, bis im Fernrohr die beiden Teilbilder des Zielpunktes koinzidieren, so ist die Basis zum distanzmessenden Winkel des Meßkeiles eingestellt und an dem Lineal ablesbar. Diese Basis, mit der Keilkonstante multipliziert, ergibt die gesuchte Entfernung. Die Meßgenauigkeit beträgt für die oben angeführte Reihe der Vorsatzkeile etwa 0,2, 0,3, 0,5, 1,0 und 2,5 Prozent der Entfernung.

Abb. 119. *(Zeiß.)*

Im Hinblick auf die hier kurz und zusammenfassend angedeuteten Möglichkeiten zur indirekten Messung von Entfernungen gelangt man zu der folgenden grundsätzlichen Einteilung:

A. Basis im Standpunkt für topographische Entfernungsmessung, von deren Darstellung hier abgesehen wird.

B. Basis im Zielpunkt für geodätische Entfernungsmessung (Tachymetrie).

I. Trigonometrische Verfahren.

1. Waagrechte Basis von fester Länge (Basislatte).

a) Direkte Bestimmung des Horizontalwinkels γ zwischen den Zielmarken der Basislatte mit einem geeigneten Theodolit von hoher Ablesungsgenauigkeit.

b) Ermittlung der trigonometrischen Tangente (tg γ) des Horizontalwinkels γ mit einer am Gerät vorhandenen waagrecht wirkenden Schraube (Meß- oder Tangentenschraube).

2. Lotrechte Basis von fester oder veränderlicher Länge, die mit einer lotrecht wirkenden Meßschraube am Gerät gemessen wird (Typus: Tangentialdistanzmesser von *Steinbach-Schneider*).

II. Optische Verfahren mit einem durch optische Mittel erzeugten distanzmessenden Winkel.

1. Fadendistanzmesser.
   Fernrohr mit zwei distanzmessenden Fäden im Fadenkreuz. In der Fadenkreuzebene wird vom Objektiv das Bild der im Zielpunkt stehenden Latte entworfen. Als Basis gilt der von den beiden Fäden bestimmte Lattenabschnitt L.

   a) Zwei feste Fäden ergeben konstanten parallaktischen Winkel γ und mit der Entfernung zunehmenden Lattenabschnitt (Typus: Distanzmesser von *Reichenbach*).

   b) Ein fester und ein beweglicher Faden erzeugen einen veränderlichen parallaktischen Winkel γ, der mit einem Okularmikrometer gemessen wird (Typus: Distanzmesser von *Friedrich*, von *Tichy*).

2. Diagrammdistanzmesser.
   Sie bringen ein in der Ebene des Fadenkreuzes liegendes oder dorthin entworfenes mikrophotographisches Kurvenbild in eine von der Fernrohrneigung abhängige Meßstellung. Die Schnittpunkte je einer Distanz- und einer Höhenkurve mit dem Vertikalfaden erzeugen die Zielstrahlen des veränderlichen parallaktischen Winkels und geben mit dem entsprechenden Lattenabschnitt das Maß der gesuchten Distanz bzw. auch des Höhenunterschiedes (Typus: Diagrammtachymeter *Hammer-Fennel*).

Bei allen diesen unter II. bis jetzt genannten Distanzmessern ist lotrechte Lattenstellung vorgesehen. Die beiden Schenkelstrahlen des distanzmessenden Winkels sind bei der Durchdringung der bodennahen Luftschichten der früher erwähnten Differentialrefraktion unterworfen. Da deren schwankendes Ausmaß bei praktischen Messungen unbekannt ist und nicht berücksichtigt werden kann, ergibt sich eine beschränkte Meßgenauigkeit. Bei Anwen-

dung von lotrechten Latten sprechen wir von gewöhnlicher Tachymetrie.

3. Keildistanzmesser oder Doppelbildtachymeter.

   Sie erzeugen den distanzmessenden Winkel durch jene Richtungsablenkung, die ein Strahl bei der Durchdringung eines achromatischen Glaskeiles [16,4] erfährt. Bei allen Keildistanzmessern verwendet man in der Regel eine waagrecht liegende Latte. Die hiedurch bewirkte Ausschaltung der Differentialrefraktion der Höhe nach, ermöglicht eine sehr genaue Entfernungsmessung (Präzisionstachymetrie).

   Von den möglichen Keilanordnungen sind die folgenden praktisch ausgeführt worden:

   a) Keil, als Vorsatzkeil, in einer um die Fernrohrachse drehbaren Fassung vor dem Objektiv. Der Strahlengang durch den Keil ist durch eine Deckklappe ausschaltbar, wodurch Einfachbild entsteht (Typus: *Zeiß-Dimeß*).
   b) Zwei übereinander liegende Keile, jeder mit einem vorgesetzten optischen Mikrometer [18,252] in einem eigenen Distanzmeßkörper vor dem Objektiv aufsteckbar und um die Fernrohrachse drehbar (Typus: Präzisionsdistanzmesser von *Wild*).
   c) Zwei hintereinander befindliche Keile und ein in der Fernrohrlage I über den Keilen gelagertes Plattenmikrometer. Der Doppelkeil ist nach Art eines Drehkeilmikrometers [18,251] mit der Fernrohrkippung gekoppelt (Typus: Reduktionstachymeter Redta von *Boßhardt-Zeiß*).
   d) Ein Vorsatzkeilmikrometer, das mit einer Meßschraube um die zum Keilhauptschnitt senkrechte Mittelachse schwenkbar ist, wodurch sich der distanzmessende Winkel γ bis zu 22% seines Wertes ändert und für die sehr genaue Bestimmung von Entfernungen bis 1250 m verwendet werden kann (Typus: *Berroth-Fennel*sches Keilmikrometer)[13b].

Die Keilanordnungen 3. a), 3. b) ergeben festen parallaktischen Winkel und Ablesung der Schrägentfernung s, die mit dem Neigungswinkel β des Fernrohrs in die Horizontalentfernung

$D = s \cos \beta$ zu verwandeln ist, entweder durch Ausrechnung oder durch Entnahme der Reduktionsgröße $(s - D)$ aus geeigneten, dem Instrument beigegebenen Tafeln.

Die zur Messung von Entfernungen bis etwa 200 m derzeit denkbar vollkommenste Anordnung 3. c) führt bei berichtigtem Instrument sogleich zur Ablesung der Horizontaldistanz D bzw. auch zur waagrechten Entfernung $D_O = D - \delta_H \cdot D$ im Meereshorizont.

Bei den genannten Formen ist die Basis der Keildistanzmesser mit der Entfernung veränderlich. Die Drehung des optischen Plattenmikrometers bewirkt bei 3. b) eine Parallelverschiebung beider Schenkel des distanzmessenden Winkels zwecks Herstellung der Koinzidenz zwischen den Doppelbildern der Lattenteilung. Bei Ausführung 3. c) (Redta) wird durch die Planplatte nur ein Schenkel des parallaktischen Winkels zusätzlich parallel verschoben.

Wir wollen diesen Überblick nicht beschließen, ohne jene modernsten Verfahren der Distanzmessung wenigstens zu streifen, die sich aus den Anwendungen der Funkmeßtechnik ergeben[14a].

Die aus kriegstechnischen Gründen besonders geförderte Entwicklung dieser Methoden ist seit dem Ende des letzten Krieges sehr weit fortgeschritten. Einzelne Verfahren erlauben es bereits, mit beträchtlicher und fast hinreichender Genauigkeit, vor allem aber mit einem vergleichsweise sehr geringen Aufwand von Mühe und Zeit, jene großen Entfernungen zwischen den Kontinenten zu messen, die zur Fortführung der Triangulationen über die Weltmeere hinweg, d. h. zur geodätischen Verbindung der Kontinente, erforderlich sind.

Auf diesem Gebiet arbeiten die Verfahren der Funkmeßtechnik (Radar) heute schon so ausreichend genau, daß die zahlreichen für diesen Zweck ersonnenen, sehr interessanten, aber auch sehr umständlichen und utopischen Projekte[14b] kaum mehr als solche verwirklicht werden dürften.

Mit Hilfe der Differenzdistanzmessung nach den Hyperbelmethoden[14c], nämlich dem G-Verfahren (mit Ultrakurzwellen — UKW — zwischen Dezimeter- und Zentimeterlängen) bzw. dem DECCA-, POPI- und LORAN-Verfahren (mit Mittel- und Langwellen von 10^3 bis 10^2 Metern Länge) sind Entfernungen von mehreren 100 Kilometern bei Tag, bis über 1000 Kilometer bei Nacht bestimmbar, u. zw. z. B. bei LORAN (Long Range Aid to Navigation) mit mittleren Fehlern von bis zu etwa ± 3 m.

Für kürzere Distanzen (bis 15 km) stehen Funkmeß- (Radar-) Geräte mit Frequenzvariation zur Verfügung, die eine Genauigkeit von wenigen Dezimetern erreichen lassen.

Wir erwähnen schließlich noch die elektrischen Höhenmesser[14d] (UKW = = Ultrakurzwellen-Echolote), die mit Hilfe von Zentimeterwellen die Höhe eines Flugzeuges, d. h. des in ihm eingebauten UKW-Senders, über Grund angeben. Ähnlich wie beim akustischen Echolot[14e] wird dabei entweder die Laufzeit eines UKW-Impulses gemessen oder aber es ergibt sich der Höhenunterschied über Grund durch den Phasenvergleich der gesendeten mit der Echowelle, mit einer Genauigkeit von wenigen Dezimetern.

Nach dieser Übersicht der Meßverfahren und -geräte wenden wir uns ihren theoretischen Unterlagen bzw. der praktischen Durchführung zu.

24 Unmittelbare Entfernungsmessung

Die zur Verwendung kommenden Geräte und Meßbehelfe sind im Fachkreis so allgemein und auch dem Laien so weit bekannt, daß wir sie hier nur teilweise und schlagwortartig beschreiben.

Zur Ausfluchtung oder Absteckung der zu messenden Strecke, die entweder mit einem Doppelfernrohr (Feldstecher) oder Winkelmeßinstrument bzw. bei kurzen Strecken auch freiäugig vorgenommen wird und stets mit der Einweisung des weitesten Zwischenstabes beginnen muß, benötigen wir Fluchtstangen (Absteckstäbe) in verschiedenen marktgängigen Ausführungen und Längen.

Der Abstand der Stäbe ist dem Meßmittel, der angestrebten Genauigkeit sowie dem Gelände anzupassen und wird, bei Benutzung des gebräuchlichen Stahlbandes von 20 m Länge, zwischen 20—40 m schwanken.

Für sehr genaue Messung von Strecken auf ebener oder entsprechend vorbereiteter Meßbahn, meist längs einer gespannten Schnur oder aufgeklatschten Kreidelinie, verwendet man hölzerne Meßstangen oder -latten, mit metallischen Kreuzschneiden an den Enden, von 2, 4, 5 m Länge.

Beim Staffelzeug wird dessen Meßlatte mit einer eingebauten Libelle waagrecht gerichtet und dann endseitig in einer Gabel gelagert, die an einem Haltestab verschieb- und klemmbar ist. Durch Ablotung ergeben sich unmittelbar waagrechte Strecken im Messungshorizont.

Meßbänder, aus imprägniertem Leinen mit mehrfacher Drahteinlage oder aus Stahl, sind in Längen von 10, meist 20, aber auch 50 m gebräuchlich. Die ersteren sind in Lederkapseln aufgerollt, verhältnismäßig leicht dehnbar und dienen daher zur Messung von Strecken möglichst nur innerhalb der Bandlänge, wie etwa bei der Ordinatenbestimmung für die Aufnahme von Kleinpunkten mit rechtwinkligen Koordinaten.

Stahlbänder werden auf Tragringen aufgerollt und bei der Arbeit oft mit Zieh- oder Spannstäben verwendet, die durch gelenkig mit dem Band verbundene Griffe zu stecken sind. Die Benützung solcher Spannstäbe führt leicht zu Überspannungen des Bandes und damit zu oft sehr beträchtlichen einseitigen Fehlern. Man soll daher entweder durch zwischengeschaltete Spannungsmesser (Federwaagen) die Prüfspannung des Bandes einhalten oder am besten überhaupt keine Spannstäbe benutzen und nur von Hand aus spannen, wodurch eine wesentlich gleichmäßigere Zugkraft und geringere Spannschwankung gesichert ist.

Die Bezeichnung der vollen Bandlänge erfolgt bei sehr genauer Arbeit durch besondere Anreihevorrichtungen [24,1], im allgemeinen durch Markiernägel, von deren sorgfältiger Einsteckung die Güte der Messung in besonderem Maß abhängt.

Zur direkten Neigungsbestimmung des im allgemeinen schräg liegenden Maßstabes verwendet man entweder ein Winkelmeßinstrument, gewöhnlich aber einen einfachen Freihandneigungsmesser [26,1], oder es wird aus irgendwie ermittelten Höhenunterschieden die Neigung nachträglich abgeleitet.

Für ganz rohe Zwecke, wie etwa die Kilometrierung von Straßen usw., stehen Meßräder zur Verfügung, deren Zählwerk die abgewälzte Strecke angibt.

Nach den Bestimmungen des Deutschen Maß- und Gewichtsgesetzes von 1935 und der Deutschen Eichordnung von 1942, die derzeit in Österreich noch in Geltung stehen, haben die Hersteller dafür zu bürgen, daß beim Kauf der fabriksneuen Meßmittel ihre wahre Länge l von der Nennlänge N höchstens um die folgenden Beträge abweicht, wobei l in Metern einzusetzen ist.

Stahlbänder:	mit Lochungen oder Nietmarken	$\pm (0{,}4 + 0{,}2\ l)$ mm,
	mit Strichmarken	$\pm (0{,}2 + 0{,}2\ l)$ mm,
Meßstangen aus Holz		$\pm 0{,}7\ l$ mm,
Präzisionsmetallmaßstäbe		$\pm (0{,}05 + 0{,}05\ l)$ mm.

Arbeitsvorgang

Nach vorbereiteter Ausfluchtung der gesuchten Strecke wird diese entweder durch Staffelung, d. h. Aneinanderreihung des Meßmittels in waagrechter Lage und Ablotung des freien Endpunktes, oder durch Schrägmessung ermittelt.

Im ersten Fall erhält man, wie bei Anwendung des vorhin erwähnten Staffelzeuges, wohl unmittelbar horizontale Strecken, doch ist, insbesondere bei steilem Gelände, der Arbeitsfortschritt durch die Ablotung in höchstens brusthohen Teilstücken sehr gehemmt. Bei Lattenmessung ersetzt man daher oft die Ablotung durch eine rasche Neigungs- oder Höhenunterschiedsbestimmung, dreht die Meßlatte, bei festgehaltenem Anfangspunkt, bis zum Aufliegen am Boden und trägt in Richtung der nun schrägen Latte einen Zuschlag z auf, dessen Ende den gesuchten Lotpunkt angibt. Für die Lattenlänge s und die beobachtete Geländeneigung β bzw. den Höhenunterschied h wird der nach

$$z = \frac{2 s \sin^2 \frac{\beta}{2}}{\cos \beta} = \sqrt{s^2 + h^2} - s$$

berechnete Zuschlag z einer vorbereiteten Tabelle entnommen.

In diesem Lotpunkt ist nun die nächste Latte anzulegen und so weiter fortzumessen.

Bei der Arbeit mit 5-m-Latten ($s = 5$ m) und Höhenunterschieden h bis zu 11 Dezimeter kann der Zuschlag z noch auf Millimeter genau rasch mit der Faustregel $z_{(mm)} = h^2_{(dm)}$ berechnet werden. Für $h = 14$ dm erhält man indessen schon $z = 196$ mm gegen den richtigen Betrag $z = 192$ mm.

Durch das Verfahren der Schrägmessung werden Teilabschnitte bestimmter Neigung festgelegt, die man schon während der Arbeit auf den Horizont reduziert, wobei es vorteilhaft ist, möglichst oft die volle Länge des Meßmittels (z. B. die Stahlbandlänge) als Teilabschnitt anzuwenden, soweit dies das Profil der zu messenden Strecke zuläßt.

Da man in der Praxis zur direkten Distanzmessung vorzugsweise das 20-m-Stahlband verwendet, beschränken wir uns auf die Darstellung seines Gebrauches[15].

Nach vorläufiger Auflage des Bandes und Einweisung der Hand des vorderen Trägers in die Fluchtlinie wird auf Kommando gespannt und der Markiernagel normal zum ruhig gehaltenen Band bei seiner Endmarke in den Boden gestochen. Auf Stein zeichnet man an und legt den Markiernagel bei.

Ist die Messung in gleicher Weise einige Bandlängen weitergeführt, dann beginnt die Bestimmung der Schräglage. Hiezu zielt der Beobachter im rückwärtigen Punkt mit dem Neigungsmesser nach einer Zielscheibe oder sonstigen Marke auf einem Fluchtstab, der im vorderen Punkt, knapp neben dem Markiernagel, lotrecht aufzusetzen ist. Die Höhe der Zielscheibe über dem Boden (Zielhöhe Z) wird bei Beginn der Arbeit auf die Höhe des Neigungsmessers über dem Boden (Instrumentenhöhe J) eingestellt. Für rasche Arbeit ist die Verwendung eines Freihandgefällmessers zu empfehlen, der unmittelbar die Neigung in Prozenten ($p\%$) angibt [26,4].

Für das 20-m-Stahlband kann dann der Zentimeterbetrag der Neigungsreduktion $s - d$ mit der Formel $s - d \doteq \frac{p^2}{10}$ berechnet werden, u. zw. auf Zentimeter genau, wenn die Neigung unter 20% bleibt. Man erhält nämlich in diesem Grenzfall ($p = 20$) als Reduktion $s - d \doteq 40$ cm an Stelle des richtigen Wertes von 39 cm.

Werden im Streckenprofil für die Endpunkte der einzelnen Bandlagen Höhenunterschiede h in Metern bestimmt, dann findet man die Reduktion, wieder auf Zentimeter genau, mit der Formel $s - d \doteq \frac{h^2}{40}$, wenn h höchstens 5 m erreicht. Es ergibt sich hier $s - d \doteq 62{,}5$ cm gegen den richtigen Wert $s - d = 63{,}5$ cm.

Bei größeren Gefällen ist entweder die waagrechte Strecke $d = s \cos \beta$ zu berechnen oder die Reduktion $s - d$ aus einer Tafel, nach Art des folgenden Ausschnittes, zu entnehmen.

$p\%$	β	$s - d$	$p\%$	β	$s - d$
20	11° 19′	39 cm	28	15° 39′	74 cm
22	12 24	47	30	16 42	84
24	13 30	55	32	17 45	95
26	14° 34′	64 cm	34	18° 47′	107 cm.

Die Hinmessung der Strecke endigt mit der Ablesung des Endpunktes innerhalb der letzten ihn überdeckenden Bandlage. Zur Kontrolle sind alle in der Strecke gesteckten und nach der Gefäll-

messung entfernten Markiernägel zu zählen. Das vorläufige Ergebnis der Hinmessung D_1 ist als Summe aller horizontalen Teilstrecken sofort auszurechnen.

Schließlich ist festzuhalten, daß jede im lokalen Messungshorizont direkt ermittelte oder mit $d = s \cos \beta$ auf ihn reduzierte Strecke d noch auf die Meeresoberfläche zu beziehen ist, denn diese gilt als Träger der Grundrißdarstellung in allen Plänen und Karten. Unter Hinweis auf [II 8] nehmen wir die betreffenden Ergebnisse von [27] (Abb. 174) vorweg und vermerken die Beziehung

$$d : d_0 = (H_m + R) : R, \quad d_0 = d \frac{R}{H_m + R} = d - \delta_H \cdot d.$$

Hier ist d_0 die auf das Meeresniveau reduzierte Länge einer in der mittleren Seehöhe H_m gemessenen Strecke d, R der mittlere Erdradius im Vermessungsgebiet (angenähert $R \doteq 6370$ km) und $\delta_H = \frac{H_m}{R}$ stellt den Koeffizienten der Seehöhenreduktion dar, nämlich

$$\delta_H = 157 \,.\, 10^{-6} \,\text{km}^{-1}.$$

Die Rückmessung vollzieht sich in gleicher Weise, u. zw. unabhängig von der Hinmessung, indem man die erste Bandlage im Endpunkt beginnt, so daß sich völlig neue Orte für die einzusteckenden Markiernägel ergeben. Bei Erfordernis wird mit der Rückmessung gleichzeitig auch die Detailaufnahme durch rechtwinklige Koordinaten [Abschnitt K] innerhalb jeder hiezu gesichert festgehaltenen Bandlage ausgeführt. Das Ergebnis der zweiten Messung darf von dem der Hinmessung nur innerhalb der zulässigen Differenz abweichen [24,2].

24,1 Fehlermöglichkeiten und Fehlerquellen der Stahlbandmessung

Die bei jeder direkten Entfernungsmessung wirksam werdenden regelmäßigen und unregelmäßigen Fehlereinflüsse[16] [II 11] betrachten wir wieder für den praktisch am häufigsten vorkommenden Fall der Verwendung eines Stahlbandes von der Nennlänge $N = 20$ m.

1. Regelmäßig wirkende Fehlereinflüsse.

1 a) Vernachlässigung der Bandkorrektur k. Durch Vergleichung des Bandes mit der Nennlänge $N = 20$ m auf einer mit Normalmaßen [23] abgeleiteten Prüf-

strecke, wird die wahre Bandlänge $s = N + k$ bei der Prüftemperatur t_0 und der Normalspannung $P_0 = 10$ kg mit geeigneten Spannungsmessern oder auch unter Anhängung von Gewichten bestimmt.

1 b) Nichtbeachtung des Temperatureinflusses. Hat das Band während der Messung die Temperatur $t' = t_0 + \tau$, so nimmt es die Länge $s' = s(1 + \alpha\tau)$ an, wo für gewöhnlichen Stahl zu setzen ist $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$. Durch $\tau = +10^0$ C wird ein 20-m-Band um 2,4 mm verlängert.

1 c) Vernachlässigung von Spannungsänderungen. Erhält das Band eine Spannung $P = P_0 + p$, so entsteht $s' \doteq s\left(1 + \frac{p}{qE}\right)$. Da gewöhnliche 20-m-Stahlbänder meist einen Querschnitt $q \doteq 6\,\text{mm}^2$ und einen Elastizitätsmodul $E \doteq 2 \cdot 10^4\,\text{kg}\,\text{mm}^{-2}$ besitzen, erleiden sie durch die Überspannung von $p = 10$ kg eine Verlängerung

$$\lambda = \frac{s\,p}{q\,E} \doteq +1{,}7\ \text{mm}.$$

1 d) Durchhangsänderung des Bandes. Bei freier Endauflage im Horizont stellt sich als Bandform die mitten-symmetrische Kettenlinie ein und ihre Annäherung durch einen Kreisbogen ergibt zum Durchhang (Pfeilhöhe) y den tatsächlichen Endabstand:

$$s' = s - v, \qquad v = \frac{8\,y^2}{3\,s}.$$

Wird die wahre Bandlänge s bei der Prüfspannung $P = 10$ kg mit voller horizontaler Auflage bestimmt, dann entsteht für freien Durchhang, d. h. Auflage nur den Enden, eine Pfeilhöhe $y \doteq 12$ cm, und der nun vorhandene Endabstand ist um $v \doteq 1{,}9$ mm verringert.

Bei der Messung über Gräben wird es leider nur zu oft versucht, den Durchhang durch vermehrte Bandspannung zu verkleinern. Die hiedurch bewirkten Bandverlängerungen λ überschreiten weitaus die entsprechenden Werte v, wie man aus der folgenden Zusammenstellung erkennt:

$P =$	2,4	3	4	6	10	12,2	20	30	40	50	kg
$y =$	500	400	300	200	120	100	61	40	30	24	mm
$v =$	33,5	21,3	12,0	5,3	1,9	1,3	0,5	0,2	0,1	0,1	mm
$\lambda =$	.	.	.	.	.	0,4	1,7	3,4	5,1	6,8	mm

1 e) Abweichungen aus der Flucht oder Profilbuckel der Bandlage, aufgefaßt als Pfeilhöhe y im obigen Sinn, erzeugen entsprechende Verkürzungen v.

2. Unregelmäßig wirkende Fehlereinflüsse.

Sie treten als Anreihungsfehler der einzelnen Bandlagen bzw. als Ablesefehler auf und können bei sorgfältiger Arbeit für jede Bandlage mit Beträgen von 1—2 mm veranschlagt werden.

Eine weitergehende Verminderung der Anreihefehler erhält man bei Benutzung eines Anreihegerätes, wie es z. B. von *Löschner* angegeben worden ist, oder auch mit dem Verfahren der Stichbandmessung von *Schlesinger*.

Das Anreihegerät von *Löschner* besteht aus einer schweren Metallplatte, die nach vorläufiger Spannung des eingefluchteten Bandes neben diesem fest in den Boden zu drücken ist. Auf der Platte befindet sich ein fein verschiebbarer Index, den man bei der endgültigen Spannung genau auf die Bandmarke einstellt. In der nächsten Bandlage wird von dem Index aus weiter gemessen.

Bei der Stichbandmessung nach *Schlesinger* sind eingefluchtete Zwischenpflöcke mit Hilfe des vorläufig gespannten Bandes so einzuschlagen, daß auf die Pflockoberfläche eine beliebige Dezimeter- oder Metermarke des endgültig gespannten Bandes mit einer Ahle einstechbar ist. Für die Reduktion dieser einzelnen Schrägstrecken werden die Neigungen stets durch Theodolitmessung bestimmt oder aus Nivellementsergebnissen berechnet.

24,2 Fehlerfortpflanzung und Genauigkeit der Stahlbandmessung

Die eben betrachteten beiden Fehlergruppen werden das Messungsergebnis der einzelnen Bandlage entsprechend den Angaben von [II 11] verfälschen, u. zw. mit einem regelmäßigen Fehleranteil $m_1 = c$ und einem unregelmäßigen Fehleranteil $m_2 = \pm m$.

Bei Anreihung von n Bandlagen s' ergibt sich daher nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz [II 15] für die Strecke $S = n s'$

der regelmäßige Fehleranteil $M_1 = c\,n = c\,\frac{S}{s'} = \frac{c}{s'}\,S = \beta \cdot S$,

der unregelmäßige Fehleranteil $M_2 = m\sqrt{n} = \frac{m}{\sqrt{s'}}\sqrt{S} = \gamma \cdot \sqrt{S}$.

Ein u. U. zu erwartender konstanter Fehlerbeitrag wird durch das Zusatzglied a der folgenden Formel berücksichtigt, die für praktische Zwecke die Zusammenwirkung sämtlicher Fehleranteile darstellt:

$$M_S = a + M_1 + M_2 = a + \beta \cdot S + \gamma \cdot \sqrt{S}\,.$$

Aus den Unterschieden von zahlreichen praktisch erhaltenen Doppelmessungen [II 19] für verschiedene Meßmittel und

Messungsverhältnisse werden die zu erwartenden Maximalfehler festgestellt und als zulässige Differenzen $\triangle S$ bei der Ausführung staatlicher Vermessungen vorgeschrieben.

Österreichische Vorschrift für Stahlbandmessung[17]

$$\triangle S \leqq 0{,}015 + 0{,}00015\, S + 0{,}005 \sqrt{S}$$

$S =$	40	60	80	100	120	140	160	180 m.
$\triangle S \leqq$	53	63	72	80	88	95	102	109 mm.

Bei günstigen (ungünstigen) Messungsverhältnissen sind die Formelergebnisse um 25 Prozent zu vermindern (vermehren). Tatsächlich wird man bei sorgfältiger Arbeit in günstigem Gelände mit nachstehenden Fehlern der Einzelmessung rechnen dürfen:

20-m-Stahlband: $M = 0{,}001\sqrt{S} + 0{,}0001\, S$ (rund 2 cm Fehler pro 100 m, relativer Fehler 1 : 5000),

2-m-Meßstangen (mit Kreuzschneiden und Messung längs gespannter Schnur): $M = 0{,}0005\sqrt{S}$ bis zu $0{,}001\sqrt{S}$ (rund 5—10 mm pro 100 m, relativer Fehler 1 : 10 000),

20-m-Invarband: $M = 0{,}0002\sqrt{S}$ (rund 2 mm pro 100 m).

Verwendung des 20-m-Leinenbandes (mit Drahteinlagen), höchstens bis zu $S = 40$ m, führt zu Fehlern bis etwa 5 cm pro 20 m, je nach Spannung und Feuchtigkeit.

25 Mittelbare Entfernungsmessung

Unter Bezug auf die im allgemeinen Überblick [23] gegebene Einteilung wird jeweils die wichtigste Gerätform und das entsprechende Messungsverfahren ausführlicher dargestellt, bei anschließend kurzem Hinweis auf ähnliche Geräte und Messungsverfahren.

Hinsichtlich der Verwendung entweder einer horizontalen Latte für Präzisionstachymetrie oder einer lotrecht stehenden Latte für gewöhnliche Tachymetrie ist allgemein folgendes festzuhalten.

Zur Vermeidung der bereits erwähnten Differentialrefraktion verwendet man eine horizontale Latte. Sie wird auf einem Theodolitstativ oder mit eigenem Standrohr über dem Zielpunkt meßgerecht aufgestellt. Nach Zentrierung bei einspielender berichtigter Dosenlibelle [18,1] und Anzielung des Theodolites mit einem Diopter oder Zielfernrohr liegt die Verbindungslinie der Lattenzielmarken horizontal über dem Bodenpunkt und steht außerdem senkrecht zur gesuchten Entfernung. Es ist notwendig, die Erfüllung dieser letzten Bedingung

öfters zu überprüfen, u. zw. über einem abgesteckten rechten Winkel, ähnlich wie bei der Untersuchung eines Winkelspiegels [17,4] oder in folgender Art.

Man zielt zuerst den Theodolit genau an, dann freiäugig entlang der Verbindungslinie der Lattenmarken und merkt in großer Ferne einen Hilfspunkt. Nach 180°-Drehung der Latte und neuerlicher Anrichtung des Theodolites mit der Zieleinrichtung der Latte muß die Verbindungslinie der Lattenmarken wieder auf den gemerkten Punkt weisen. Eine etwa erforderliche Berichtigung erfolgt durch entsprechende Veränderung der Zieleinrichtung.

Die für gewöhnliche Tachymetrie dienende Latte wird mit Senkel oder Dosenlibelle lotrecht so aufgestellt und oft durch seitliche Spreizen versichert, daß ihre Teilungsfläche bzw. die Verbindungslinie von u. U. auf ihr angebrachten Zielscheiben durch den Bodenpunkt geht. Bei freihändiger Haltung sind, insbesondere in der Richtung zum Meßgerät und vor allem in geneigtem Gelände, Abweichungen von der Lotrechten unvermeidlich und erzeugen dann beträchtliche Distanzfehler [25,221].

Von zwei verschieden geneigten Lichtstrahlen durchläuft der höhere von ihnen i. a. Schichten von geringerer Dichte als der tiefere und wird deshalb weniger gebrochen als dieser. Die Schenkel des parallaktischen Winkels in der Zielebene nach der lotrechten Latte erleiden den als Differentialrefraktion bezeichneten Brechungsunterschied und werden daher einen anderen Lattenabschnitt angeben als jenen, der bei konstanter Luftdichte beobachtbar wäre[18].

Richtet man die Halbierende m des parallaktischen Winkels waagrecht und liest an der lotrechten Latte die Schnittpunkte l_o bzw. l_u des oberen bzw. unteren Winkelschenkels ab, so müßten bei konstanter Luftdichte die beiden Lattenabschnitte gleich groß sein, nämlich $l_o - l_m = l_m - l_u$. Hingegen ergibt sich bei geschichteter Luft mit nach oben abnehmender Dichte $l_o - l_o' = \varepsilon_o$, $l_m' = l_m$, $l_u - l_u' = \varepsilon_u$, $\varepsilon_u > \varepsilon_o$ und daher $l_o' - l_m < l_m - l_u'$.

Hier würde man also allein aus dem oberen Lattenabschnitt $l_o' - l_m$ eine kleinere Distanz ableiten als allein aus dem unteren Abschnitt $l_m - l_u'$, u. zw. auf jeden Fall mit dem ganzen verfälschten Lattenabschnitt $l_o' - l_u' = \lambda'$ eine andere, größere Entfernung, als aus dem für konstante Luftdichte geltenden Abschnitt $l_o - l_u = \lambda$. Praktisch treten im Verwendungsbereich der lotrechten Latten, d. h. in den bodennächsten Luftschichten, bei starker Einstrahlung abnormale Temperaturgradienten[19] auf, die es u. U. bewirken können, daß die unter normalen Bedingungen nach oben konvex gekrümmten Lichtstrahlen sich gegenteilig verhalten. Da sich für geneigte Lage der Halbierenden m ähnliche, jedoch verwickeltere Verhältnisse einstellen, die bei praktischer Arbeit nicht berücksichtigbar sind, muß der angedeutete Einfluß der Differentialrefraktion als ein unbekannt bleibender äußerer Fehleranteil hingenommen werden. Seine Größe ist bei Fadentachymetrie praktisch durch andere mögliche Fehlereinflüsse überdeckt [25,221].

Neueste Forschungen beziehen sich auf die Festlegung mikroklimatischer Zustände der bodennächsten Luftschichten zur Ermöglichung der Ausschaltung des Hauptanteiles der Differentialrefraktion[19a].

25,1 Trigonometrische Verfahren

Der parallaktische Winkel γ nach der von Zielmarken begrenzten Basis wird durch direkte Messung ermittelt, u. zw. entweder im Winkelmaß mit einem Theodolit hoher Ablesegenauigkeit oder in Form seiner trigonometrischen Tangente $\operatorname{tg} \gamma$ mit Hilfe einer Tangentenmeßschraube.

25,11 Waagrechte Basis

Die Invarbasislatte (Abb. 120) der *Wild*- bzw. *Zeiß*-Werke sichert den festen Abstand $L = 2$ m der Zielmarken durch deren Verbindung mit Invardraht in einem zusammenklappbaren

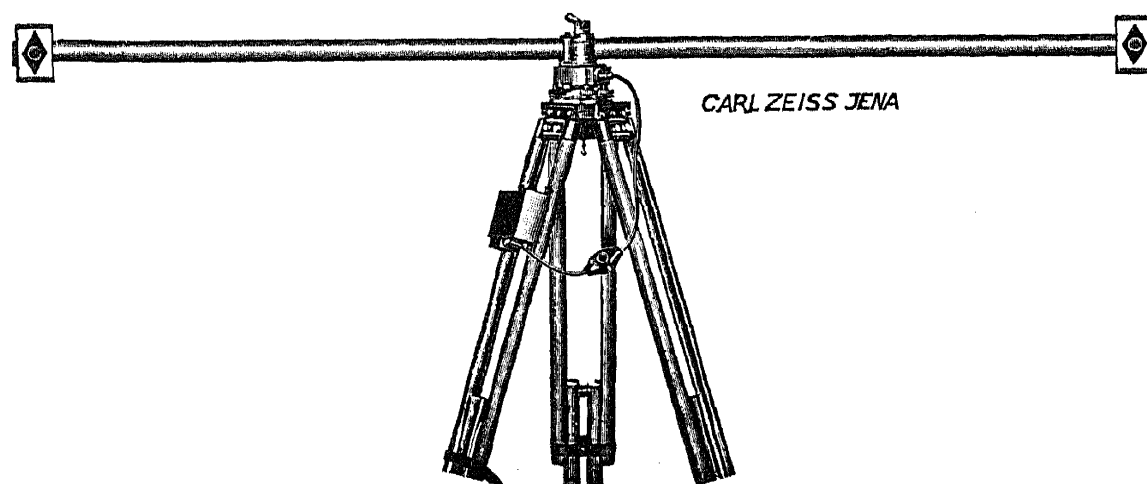



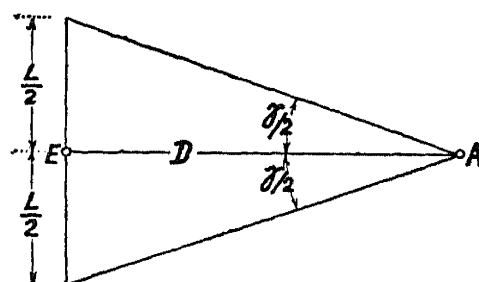
Abb. 120.

Schutzrohr aus Metall. Wird der parallaktische Winkel γ zwischen den Marken der meßgerecht aufgestellten Basislatte beobachtet [20,1] bzw. [20,3], dann ergibt sich unmittelbar die Horizontaldistanz[20] (Abbildung 121).

$$D = \frac{L}{2} \operatorname{ct} \frac{\gamma}{2} = \operatorname{ct} \frac{\gamma}{2} \text{ (Meter).}$$

Abb. 121.

Für $m_\gamma = \pm 1''$ entstehen die folgenden m. F. m_D von D innerhalb der beiden angedeuteten Verwendungsbereiche für geodätische bzw. topographische Zwecke.

$D =$	50,	100,	150,	200,	400,	600,	800,	1000 m
$m_D =$	6,	24,	55,	97 mm	39,	87,	157,	244 cm

Zur entsprechenden Verringerung der angegebenen Fehler ist mehrmalige Messung von γ mit einem Theodolit hoher Genauigkeit [18,242] bzw. [18,25] an regelmäßig verteilten Kreisstellen erforderlich. Im geodätischen Bereich beschränkt man sich auf bis zu 6 Messungen.

Beim Zahnkreistheodolit von *Hugershoff-Heyde* bzw. den verschiedenen Typen III, IV der sog. Streckenmeßtheodolite von *Zeiß* (Abb. 122), die für sich allein gebraucht werden,

aber auch einen Bestandteil der erdphotogrammetrischen F e l d a u s r ü s t u n g C 3 b bzw. TAN von Zeiß [37,2] bilden, ist eine horizontal wirkende Meßschraube, von der Ganghöhe g, mit geteilter Meßtrommel zur indirekten Bestimmung des parallaktischen Winkels γ vorgesehen[21].

In der Grundstellung der Schraube M, die bei *Zeiß*-Theodoliten durch die Ablesung $0 = 20\,000$ gegeben ist, steht ihre Achse normal

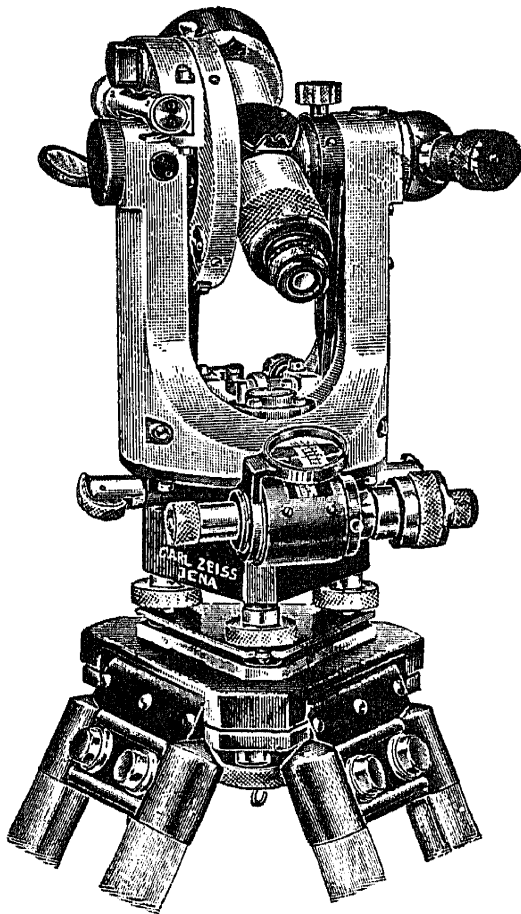



Abb. 122.
Theodolit III von *Zeiß* mit Basismeßschraube.

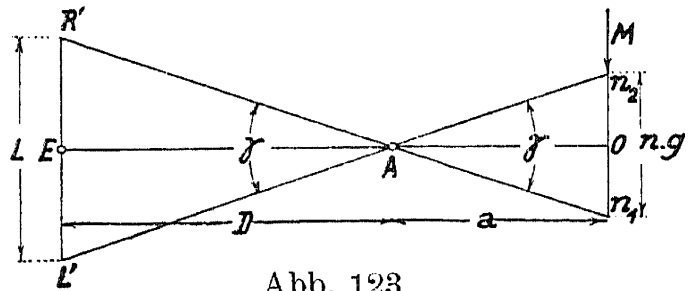



Abb. 123.

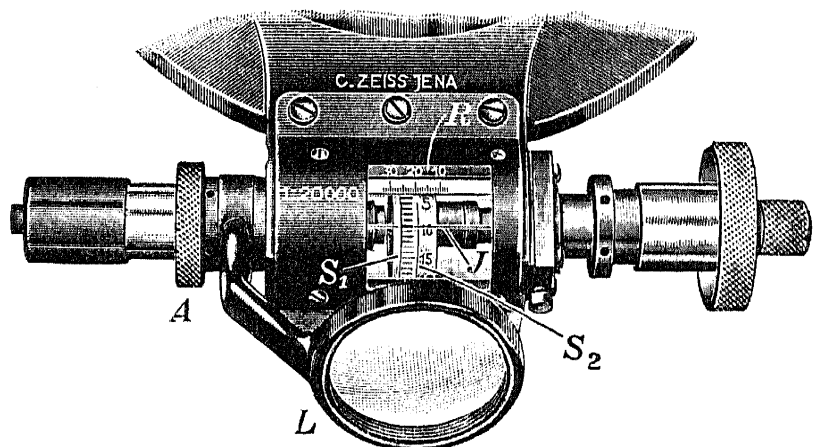



Abb. 124. Basismeßschraube. *(Zeiß.)*
L Lupe, *J* Indexstrich, *R* Rechen.

Als Index für die Ablesung am Rechen *R* dient der neben der Teilung um die Trommel herumlaufende Strich S_1, an der Trommel der auf dem Glasfenster angebrachte horizontale Strich *J*. In der Normalstellung 20 000 deckt sich der auf dem Glasfenster angebrachte Strich S_2 mit dem Strich S_1 auf der Trommel.

zur gesuchten Entfernung D und zum Meßarm AO (Abb. 123), dessen Länge in Ganghöhen ausgedrückt wird, nämlich $a = C \cdot g$, so daß mit $L : n \cdot g = D : a$ sich ergibt

$$D = L \frac{C}{n} \cdot$$

Die Konstante C der B a s i s m e ß s c h r a u b e von *Zeiß* beträgt $C = 200$ und da die Meßtrommel in 100 Intervalle geteilt ist, entspricht einem Trommelteil das Übersetzungsverhältnis $1 : 20\,000$ (Abb. 124).

M e ß v o r g a n g :

In der erwähnten Grundstellung der Meßschraube wird die Mittelmarke E der Basislatte (2 m) angezielt. Einstellung der rechten Marke R', Schraubenablesung n_1 (Schätzung Zehnteltrommelteile $= 0{,}001\,g$), Einstellung der linken Marke L', Ablesung n_2; $n = n_1 - n_2$. Mehrmalige Wiederholung der Beobachtungen in der Anordnung $n_1, n_2; n_2, n_1$ usw., s t e t s e n t g e g e n d e m D r u c k d e r S c h r a u b e n s p a n n f e d e r zur Ausschaltung toten Ganges. Mittelung aller beobachteten Differenzen n.

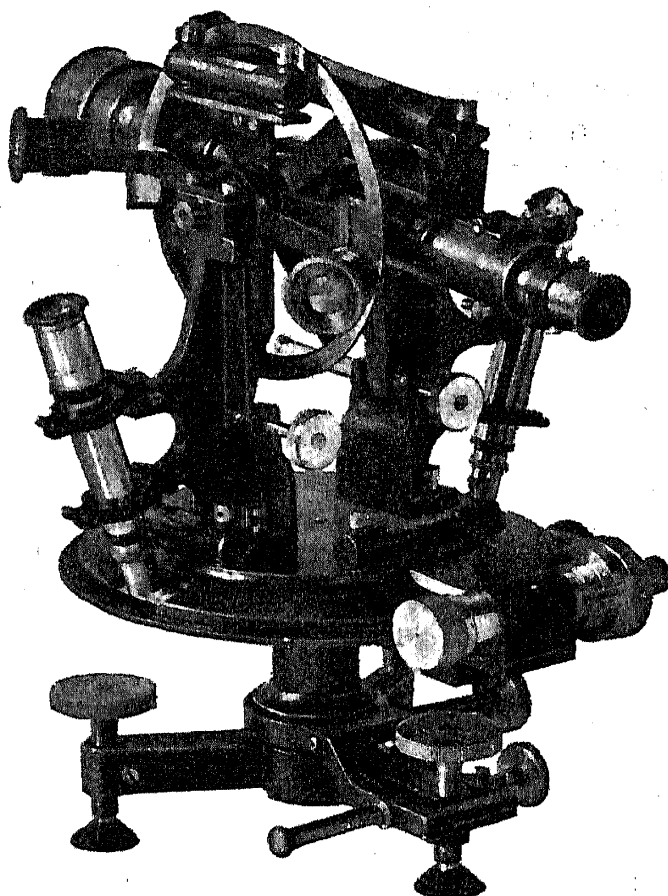



Abb. 125. Distanzmesser von *Alt* (*Neuhöfer*)
an Schätzmikroskop-Theodolit (Doppelschraube an Stelle der Horizontal-Feinschraube).

Erreicht man für n den m. F. $m_n = \pm 0{,}001\,g$, dann entspricht dies einem m. F. $m_\gamma = \pm 1''$ des parallaktischen Winkels, und für m_D entstehen damit die weiter vorne für $L = 2$ m angegebenen Fehler.

Zur Messung größerer Entfernungen ist die Basislatte durch beidseitige Ansatzstücke auf $L = 3$ m verlängerbar.

In diese Gruppe ist auch der Distanzmesser von Oberförster *Alt*[21a] zu zählen, der den parallaktischen Winkel zwischen zwei Anschlägen einer D o p p e l s c h r a u b e festlegt. Sie kann an jedem Theodolit als Ersatz seiner Alhidadenfeinschraube angebracht werden (Abb. 125).

Ziehlt man in der Anschlagstellung A die randseitige Nullmarke der in Doppelzentimeter geteilten Latte an, dreht bis zur Anschlagstellung E weiter

und liest ab L, so ergibt sich $D = 20\,L$. Wird, bei Entfernungen über 40 m, das Ende der 2 m langen Latte schon vor dem Eintritt des Anschlages E erreicht, so stellt man den Lattenendpunkt genau ein, verschiebt mit der gleichachsigen Rückstellschraube auf die Nullmarke und mißt weiter, bis schließlich der Endanschlag die Schlußablesung bringt. Jede voll überstrichene Lattenlänge entspricht 40 m, so daß man mit n Lattenlängen und der Schlußablesung l die Distanz $S = n \cdot 40\,\text{m} + 20\,l$ erhält. Die erreichbare Genauigkeit beträgt etwa 1 : 3500 bis 1 : 7000.

25,12 Lotrechte Basis

Bei meßgerechter Aufstellung des Tachymeters wird sein Fernrohr z. B. durch eine Meßschraube T (Abb. 126) mit lotrechter Spindel um den distanzmessenden Winkel gehoben oder gesenkt. Der hierbei überstrichene Lattenabschnitt L ist proportional der Meßschraubenbewegung $n \cdot g$ und mit $D : a = L : n \cdot g$ erhält man

$$D = L\frac{a}{ng}, \quad C = \frac{a}{g}, \quad D = L\frac{C}{n}.$$

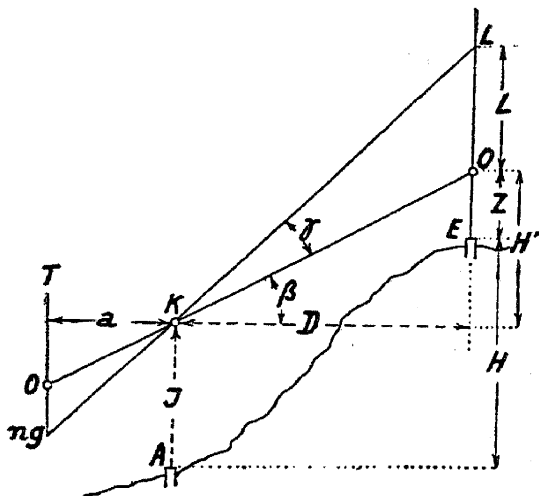



Abb. 126.

Sind an der Latte zwei (oder auch mehrere) Zielscheiben angebracht (feste Basis), so wird der zugehörige parallaktische Winkel γ durch mehrmalige Ermittlung von n gemessen[22].

Hingegen ist, bei Verwendung eines bestimmten, immer möglichst großen Wertes n, die dann veränderliche Basis L an der Latte abzulesen.

Meßvorgang:

In Nullstellung der Meßschraube wird die Nullmarke 0 der Latte (z. B. Zielscheibe oder ausgewählter Teilungspunkt) angezielt, u. zw. mit Hilfe einer Höhenfeinschraube, die das Fernrohr samt Meßschraube bewegt.

Man dreht nun diese Meßschraube und neigt dadurch die Zielachse um γ, bis ein bestimmter Teilungspunkt oder eine Zielscheibe L eingestellt ist. Der Betrag n wird an einer Skala (ganze Umdrehungen) und an der Meßtrommel (bis auf Tausendstelumdrehungen) abgelesen. Mehrmalige Beobachtung und Mittelung ergibt den in die obige Formel einzuführenden Schlußwert n.

Ähnlich arbeitet man mit einem runden Festwert n_0, der so zu wählen ist, daß für $C : n_0$ eine ganze Zahl (z. B. 20) entsteht. Nach Einstellung der Meßschraube auf n_0 wird an der Latte L abgelesen.

Der nach diesem Grundsatz konstruierte Tangentialdistanzmesser von *Steinbach-Schneider* (Wien, 1900) ist aus dem Kontakttachymeter *Sanguet*[23] abgeleitet, für $C = 100$ eingerichtet, und besitzt außerdem eine bei meßgerechter Aufstellung lotrechte Tangentenschiene T, an der die trigonometrische Tan-

gente des Höhenwinkels β der Zielung KO bis auf die zu schätzende 4. Dezimale ablesbar ist.

Nach Bestimmung der Distanz D erhält man vorerst $H' = D \operatorname{tg} \beta$ und weiter den Höhenunterschied H der Bodenpunkte aus

$$H = H' + J - Z$$

(Instrumentenhöhe J direkt zu messen, Zielhöhe Z durch Abstand der Einstellmarke 0 vom Aufsetzpunkt der Latte gegeben).

Das erste Verfahren mit fester und am besten durch Zielscheiben bezeichneter Basis wird vorteilhaft für die Messung von Polygonzugseiten angewendet, das zweite hingegen für die Bestimmung der Entfernung nach minder wichtigen Punkten bei ihrer Polaraufnahme.

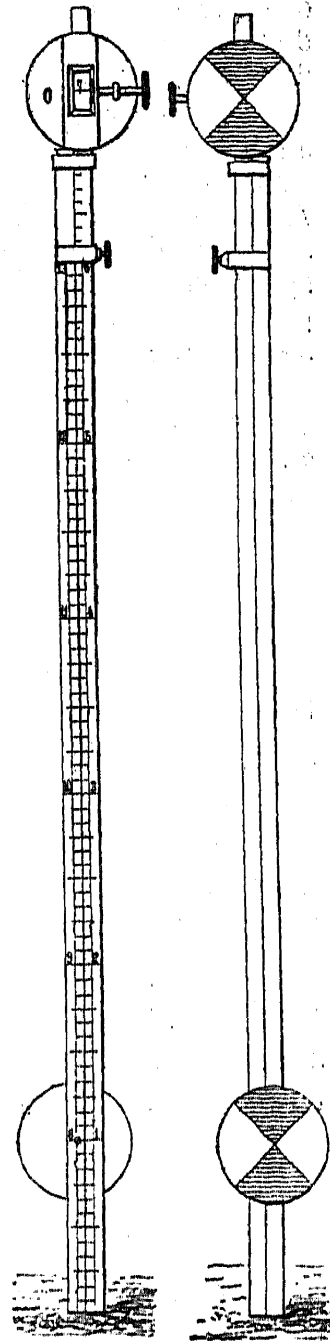
Zur Erreichung bester Genauigkeit muß n bzw. L so groß als möglich genommen werden. Der die obere Zielscheibe tragende Lattenteil (Abb. 127) ist deshalb gegen den unteren verschiebbar und wird, nach entsprechenden Zeichen des Beobachters, vom Lattenträger auf passende runde Werte der Dezimeterteilung mit einer auf der Lattenrückseite befindlichen Millimeterhilfsskala eingestellt und geklemmt. Dies bietet die Möglichkeit, später zu Hause die Scheiben in die gleiche Stellung zu bringen und ihren Abstand L sehr genau nachzumessen.

Die Prüfung des Instrumentes erfolgt wie für den Theodolit angegeben und hinsichtlich des Wertes C durch Vergleich [25,221] von indirekten Distanzbeobachtungen für mehrere waagrechte Strecken, deren Längen sehr genau direkt gemessen wurden.

Außerdem muß bei richtigem Instrument in der Schienen- und Meßschraubenstellung Null die Zielung waagrecht sein, was durch Nivellement aus zwei Standpunkten [26,4] zu prüfen ist.

Bei Verwendung des größtmöglichen Wertes $n = 5$ und einer Latte nach Abb. 127 mit Zielscheiben, deren Abstand, wie erwähnt, nachträglich genau gemessen wird, ist eine Genauigkeit von 1:5000 erreichbar, die beim zweiten Verfahren, vor allem wegen des Einflusses der Ablesefehler, auf etwa 1:1000 sinkt.

Abb. 127. *(Neuhöfer.)*

Die an vielen Nivellierinstrumenten [26] vorhandene Höhenschraube (Gefällschraube[24] von

Stampfer usw.) kann man zur Distanzmessung in ähnlicher Weise verwenden, jedoch nur für Zielungen in einem auf wenige Grade beschränkten Höhenwinkelbereich (Nivelliertachymeter von *Zeiß*, Abb. 168, bis 15%, d. h. bis zu etwa 8,5°).

In diese Gruppe sind auch die zahlreichen Formen von sogenannten Schiebetachymetern und Kontakttachymetern[25] einzureihen.

Bei den ersteren wird die ermittelte Schrägdistanz an einer Schiene eingestellt, die parallel zum Fernrohr läuft. Nach Anschiebung eines Projektionsdreieckes, an dessen Katheten sich die Nonien für Ablesung von Horizontaldistanz und Höhenunterschied befinden, ergeben sich die betreffenden Werte auf dem waagrechten Distanz- und dem lotrechten Höhenlineal.

Die Kontakttachymeter verschieben ein Gleitstück, an einer lotrechten oder auch in der Richtung zum Ziel waagrecht liegenden Schiene, zwischen zwei Anschlagpunkten von unveränderlichem Abstand. Dieses Gleitstück führt einen Arm, der mit der Kippachse des Fernrohres entweder fest verbunden oder an sie klemmbar ist und bei Verschiebung des Gleitstückes die Zielachse entsprechend neigt. Zielt man in der einen Anschlagstellung nach dem Lattenpunkt 0, klemmt den Arm und verschiebt das Gleitstück zum zweiten Anschlag, so wird die Zielung nach L weiterbewegt.

Wenn die Konstruktion die Bedingung Armlänge : Gleitstücklänge = 100 : 1 erfüllt, dann ergibt sich wieder $D = 100\,L$ bzw. $H' = D \operatorname{tg} \beta$, wo der Betrag $\operatorname{tg} \beta$ an der Schiene ablesbar ist. Die Anschlagpunkte entsprechen somit sinngemäß den vorne erwähnten Schraubenstellungen $n = 0$ bzw. $n = 5$.

25,2 Optische Verfahren

Im Gegensatz zu den vorgenannten trigonometrischen Methoden, bei denen die Beobachtung der Basisendpunkte immer mindestens zwei getrennte Einstellungen erfordert, zwischen denen das Fernrohr um den parallaktischen Winkel bewegt wird, sind die optischen Verfahren dadurch gekennzeichnet, daß die Basis bei unverändert festliegendem Fernrohr gemessen wird.

Je nach der Art des verwendeten Fernrohrs, der Entstehung und Beobachtung des virtuellen Schlußbildes im Gesichtsfeld ergeben sich die nachstehend gekennzeichneten Möglichkeiten als Erweiterung der in [16,5] dargestellten rein optischen Unterlagen.

25,21 Die Fernrohre der optischen Distanzmesser

Jedes Fernrohr kann auf zwei Arten als optischer Entfernungsmesser, d. h. als Träger des distanzmessenden Winkels γ, ausgebildet werden.

Bei der ersten älteren Art entsteht γ durch zwei in einem bestimmten festen oder auch veränderlichen Abstand vorhandene Striche des gewöhnlichen Fadenkreuzes.

Der zweite, moderne Weg benötigt für die Distanzmessung an sich **kein** Fadenkreuz, sondern erzeugt den parallaktischen Winkel durch die ablenkende Wirkung mindestens eines optischen Keiles.

Als gemeinsames Kennzeichen der **Fadendistanzmesser** ist festzuhalten, daß durch die Größe des distanzmessenden Winkels γ und die Lage seines Scheitels zwei konstante Werte eingeführt werden, nämlich die sog. Multiplikationskonstante $C = \mathrm{ct}\,\gamma$ sowie die Additionskonstante c, als Abstand des Scheitels von der Kippachse des Instrumentes[26].

Den Zusammenhang zwischen der optischen Wirkung des Fernrohrs und der Größe bzw. dem Scheitelort des parallaktischen Winkels betrachten wir für die folgenden, in der Praxis vorkommenden Fernrohrformen.

25,211 Fernrohr mit Okular von *Ramsden*

Wie die Erörterungen zu [16,51] zeigten, ist das Okular an der Entstehung des reellen Bildes nicht beteiligt und dient, als Lupe wirkend, nur zu seiner Betrachtung.

Bei parallaxenfreier Einstellung auf eine lotrechte Latte in der Entfernung D von der Stehachse S (Abb. 128) wird das reelle Lattenbild von den beiden Strichen u bzw. o des Fadenkreuzes durchschnitten, denen an der Latte die Ablesungen l_u bzw. l_o entsprechen.

Aus Abb. 128 entnehmen wir die Beziehungen $\overline{uo} = B$ (Bildgröße), $l_o - l_u = L$ (Lattenabschnitt)

$$L : B = d : f,$$

$$d = L \frac{f}{B} = L \cdot C,$$

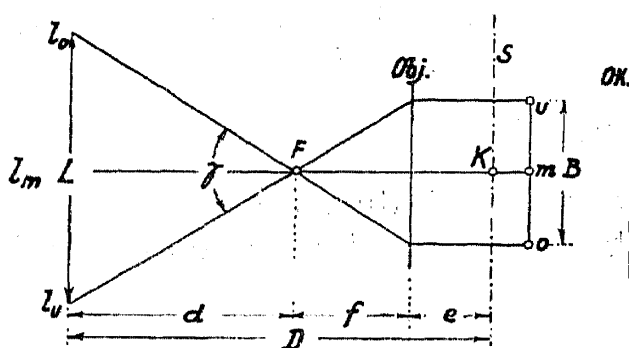
$$D = d + (f + e) = d + c = C \cdot L + c.$$

Abb. 128.

Da der Scheitel des distanzmessenden Winkels im vorderen Brennpunkt des Objektivs liegt, ist die Additionskonstante

$$c = f + e$$

durch direkte Abmessung bestimmbar.

Stellt man nämlich ein sehr weit entferntes Ziel parallaxenfrei ein, so liegt sein Bild im rückwärtigen Brennpunkt des Objektivs.

Die Lage der Bildebene wird hinreichend genau durch die Richtschräubchen des Fadenkreuzes angedeutet, so daß deren Abstand von der Objektivebene die gesuchte Brennweite f ergibt. Den Abstand e des Objektivs von der Kippachse mißt man gleichfalls direkt.

Der für die Multiplikationskonstante $C = \frac{f}{B}$ praktisch gewünschte Wert $C = 100$ kann bei modernen Instrumenten mit beträchtlicher Genauigkeit hergestellt werden. Hiezu bestimmt man vorerst im Laboratorium die Brennweite f des Objektivs für die bei Augenbeobachtung wirksamsten gelben Lichtstrahlen (n_c) [14,5] und erzeugt mikrophotographisch oder durch Teilung das Strichkreuz so, daß die Abstände $u - m = m - o = \frac{B}{2}$ die Bedingung $B = \frac{f}{100}$ erfüllen.

Bei älteren Instrumenten mit einem Fadenkreuz aus aufgezogenen Spinnfäden sind die Abstände der distanzmessenden Striche vom Mittelfaden meist ungleich, und es weicht auch C stets mehr oder minder vom gewünschten Wert 100 ab.

So wie das Resultat jeder Winkelmessung durch die persönlich eigenartige Auffassung und Einstellung der Ziele, Sehmängel usw. vom Beobachter und seiner persönlichen Gleichung abhängig ist, wird ein und dasselbe Instrument für mehrere Beobachter gering abweichende Werte von C aufweisen, wegen der individuell verschiedenen Abschätzung der Fadenlage in der Lattenteilung, Abweichungen der Farbenempfindlichkeit usw.

Es ist daher stets notwendig, den dieser persönlichen Auffassung[27] entsprechenden Betrag der Multiplikationskonstante $C = \frac{d}{L}$ nach einem jener Verfahren zu berechnen, die in [II 19] genannt und durch Beispiele erläutert sind. Die erforderlichen Angaben d, L werden in folgender Weise ermittelt (Abb. 129).

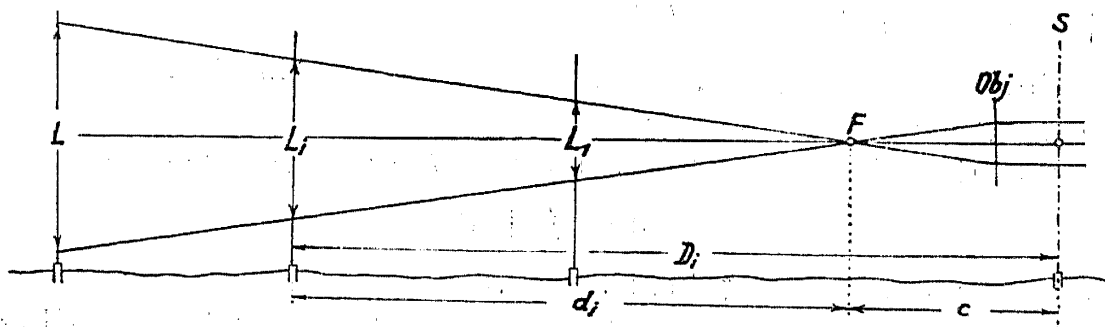



Abb. 129.

Meßvorgang zur Bestimmung der Multiplikationskonstanten

1. Gradlinige Ausfluchtung einer tunlichst waagrechten Reihe von Pflöcken in Abständen von etwa 30 m bis zu einer Distanz, die später noch gemessen werden soll (etwa 120 m). Die Meßstrecke ist so zu wählen, daß gleichmäßige, nicht grelle Beleuchtung der Latte auf allen Punkten eintritt.

2. Stahlband- oder sonstige Messung der Strecken D (erforderliche Genauigkeit mindestens 2 cm pro 100 m).

3. Bestimmung der Lattenabschnitte mit größtmöglicher Genauigkeit in nahezu waagrechter Fernrohrlage.

Es ist empfehlenswert, hiebei die Beobachtung jedes Lattenstandes in folgender Art auszuführen.

a) Ablesungen l_{o_1}, l_{u_1} (durch Schätzung der Millimeter), $l_1 = l_{o_1} - l_{u_1}$.

b) Einstellung l_{o_2} auf die zu l_{o_1} nächstliegende Zentimetergrenze (der m. F. der Einstellung auf eine Strichmarke ist geringer als der m. F. der obigen Schätzungen, Ablesung l_{u_2}, $l_2 = l_{o_2} - l_{u_2}$.

c) Einstellung l_{u_3} auf die zu l_{u_2} nächstliegende Zentimetergrenze, Ablesung

$$l_{o_3},\ l_3 = l_{o_3} - l_{u_3}.$$

d) Bildung des einfachen Mittels aus den drei Werten l_i.

e) Nach Erledigung aller Lattenstände im Hingang ist es ratsam, die Beobachtungen im Rückgang in gleicher Art unabhängig zu wiederholen und die zugeordneten Werte l_i zum Gesamtmittel L_i für den betreffenden Lattenstand zu vereinigen.

4. Mit diesen Lattenabschnitten L_i und den aus $d_i = D_i - c$ berechneten Vergleichsdistanzen ist sodann C zu bestimmen.

25,212 Fernrohr mit Okular von *Huygens*

Unter Hinweis auf die Abb. 54 von [16,51] ergibt sich aus der erweiterten Darstellung von Abb. 130 die Beziehung $L : B_1 = d : f_1$ und ferner aus der Ähnlichkeit der Dreiecke $b - b - F_2'$ bzw. $1 - 1 - F_2'$

$$B : B_1 = (f_2 - b_2) : f_2.$$

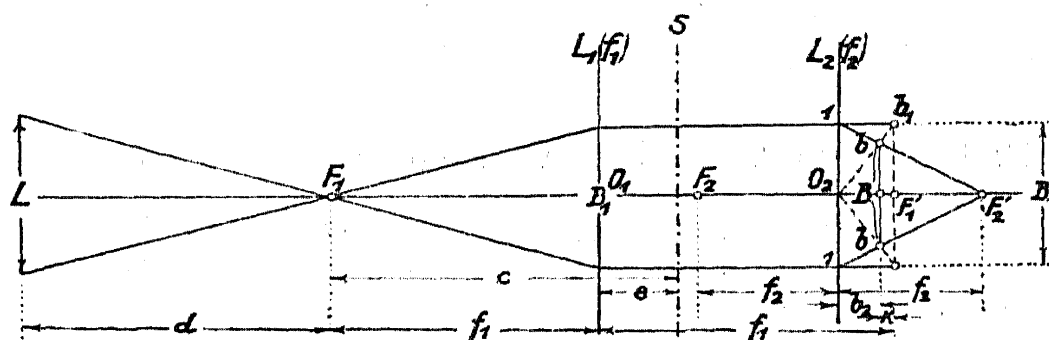



Abb. 130.

Wir erhalten daher

$$d = \frac{f_1}{B_1} L = L f_1 \frac{f_2 - b_2}{B f_2} = L \frac{f_1}{B}\left(1 - \frac{b_2}{f_2}\right) = L \frac{f'}{B} = L \cdot C.$$

Da man den Ausdruck $f_1 \left(1 - \frac{b_2}{f_2}\right) = f'$ als reduzierte Brennweite bezeichnet, entsteht sinngemäß zu [25,211] $C = \frac{f'}{B}$. Wir erkennen, daß durch eine Verschiebung des Fadenkreuzes, d. h. Änderung des Fadenkreuzabstandes b_2 um db_2, die reduzierte Brennweite f' um df' und auch die Multiplikationskonstante um den Betrag $dC = \frac{df'}{B} = -f_1 \frac{db_2}{f_2}$ abgeändert wird. Für ein Fernrohr mit $f_1 = 200$ mm, $f_2 = 24$ mm, $b_2 = 6$ mm findet man $f' = 150$ mm und $B = 1{,}5$ mm für $C = 100$. Wird das Fadenkreuz der vorderen Okularlinse L_2 (f_2) nur um $db_2 = -0{,}1$ mm genähert, so ergibt sich $dC = +\frac{5}{6} \doteq +0{,}83$.

Man kann dies zur Herstellung eines runden Wertes von C bzw. zur rohen Abstimmung auf $C \doteq 100$ benützen, muß aber nachher für besonders gute Feststellung der Richtschräubchen des Fadenkreuzes sorgen und jede unbeabsichtigte Verschiebung während der Arbeit strenge vermeiden[28].

Zu diesem Zwecke hat man früher die Richtschräubchen von *Huygens*-Okularen mit besonderen Schutzhülsen überdeckt.

Der schließlich maßgebende Wert der Multiplikationskonstante ist über eine Reihe von Vergleichsentfernungen, wie in [25,211] angegeben, zu bestimmen.

Die Additionskonstante $c = f_1 + e$ wird wieder hinreichend genau durch direkte Abmessung von f_1 und e ermittelt. Es wäre dabei zu beachten, daß der Abstand von den Richtschräubchen des Fadenkreuzes zum Objektiv um den Betrag $\varkappa$ (Abb. 130) der Okularverkürzung[29] [16,51] geringer ist als f_1. Wir dürfen indessen diesen Unterschied zufolge seiner Geringfügigkeit (im obigen Beispiel $\varkappa = 2$ mm) praktisch vernachlässigen.

25,213 Fernrohr mit Zwischenlinse von *Porro*

Wie in [16,52] und durch Abb. 58 dargestellt ist, verlegt die Zwischenlinse $L_2(f_2)$ den Scheitel des distanzmessenden Winkels in die Kippachse K des Instrumentes, so daß sich die Additionskonstante $c = O$ ergibt und die Entfernungen D_i unmittelbar von der Stehachse ab gezählt werden.

Aus Abb. 58 entnehmen wir $L_i : D_i = B' : e$ und weiters aus den ähnlichen Dreiecken O_2 5 F_2 bzw. F_2 6 O_1

$$B : f_2 = B' : (a_o - f_2),$$

so daß

$$D_i = e \frac{L_i}{B'} = e\, L_i \frac{f_2}{B\,(a_o - f_2)}.$$

Durch Einführung der am Schluß von [16,52] angegebenen Werte für e und der Äquivalentbrennweite F des Systems der Objektiv- und Zwischenlinse, nämlich

$$e = \frac{f_1\,(a_o - f_2)}{f_1 + f_2 - a_o}, \qquad F = \frac{f_1\, f_2}{f_1 + f_2 - a_o},$$

entsteht

$$D_i = \frac{f_1\, f_2}{f_1 + f_2 - a_o} \cdot \frac{L_i}{B} = \frac{F}{B} L_i = C \,.\, L_i.$$

Man erkennt wieder, daß eine Veränderung des Linsenabstandes a_o um da_o nicht nur die Äquivalentbrennweite F um dF und damit die Multiplikationskonstante C um dC ändert, sondern auch eine Verlagerung de des anallaktischen Punktes bewirkt. Es ergibt sich

$$dF = \frac{F^2}{f_1\, f_2}\, da_o\,, \quad dC = \frac{dF}{B} = \frac{C}{F}\, dF = C\, \frac{F}{f_1\, f_2}\, da_o\,,$$

$$de = \frac{F^2}{f_2^{\,2}}\, da_o.$$

Für die Linsenanordnung $f_1 = 200$ mm, $f_2 = 120$ mm, $a_o =$ 170 mm erhält man z. B.: $F = 160$ mm, $e = 66{,}6$ mm, $B = 1{,}6$ mm, $C = 100$ und $da_o = +\,1$ mm erzeugt $dF = +\,1{,}07$ mm, $dC = 0{,}67$, $de = +\,1{,}8$ mm.

Diese nur geringe Verschiebung des anallaktischen Punktes ist als Additionskonstante ohne Bedeutung[30], so daß die Veränderung des Linsenabstandes da_o (mit Hilfe der Gleichung für dC) zur Abstimmung des Wertes $C = 100$ benützt werden kann. Sehr oft ist die Größe der Änderung da_o an einer neben dem Schiebeschlitz befindlichen kurzen Millimeterteilung ablesbar. Für gute Festschraubung der Zwischenlinse nach etwaiger Verschiebung ist besondere Sorgfalt aufzuwenden.

Der danach tatsächlich vorhandene Wert von C ist, wie in [25,211] angegeben, auf einer Reihe von Vergleichsstrecken zu bestimmen.

25,214 Fernrohr mit Fokussierlinse

Als Auswirkung der allgemeinen Hinweise in [16,53] bzw. der soeben erläuterten Zusammenhänge zwischen Linsenverschiebung, Änderung der Äquivalentbrennweite des Systems und daraus folgender Änderung der Multiplikationskonstante C, könnte auf den ersten Blick die irrtümliche Meinung entstehen, daß ein Fernrohr mit Fokussierlinse als Träger eines optischen Distanzmessers untauglich sei. Es läßt sich indessen leicht zeigen, wie bei zweckentsprechender Auswahl des Systems der Objektivlinse und der zerstreuenden Fokussierlinse jedes Fernrohr so eingerichtet werden kann, daß sich für eine bestimmte Distanz, z. B. $D = 100$ m, völlig streng die Formel $D = 100\,L$ (also $C = 100$, $c = 0$) ergibt und daß diese Formel für alle anderen Entfernungen gilt, wenn man geringe Änderungen der Additionskonstante im Ausmaß von etwa $+2$ cm bis zu -2 cm außer acht läßt.

Der Konstrukteur entscheidet sich für einen bestimmten Abstand l zwischen dem Objektiv L_1 (f_1) und der Fadenplatte E (Abb. 59). Hiedurch ist die sogenannte unveränderliche Länge des Fernrohres festgelegt. Nach der Wahl geeigneter Brennweiten f_1 und f_2 für das Objektiv L_1 und die Zwischenlinse L_2 (f_2) berechnet man mit Hilfe der Abbildungsgleichungen des Linsensystems (siehe [13]) jenen Abstand a der beiden Linsen, für den ein Objekt in der Gegenstandsweite $g_1 = \infty$ in der angenommenen Fadenkreuzebene abgebildet wird, wodurch alle weiteren Abstände b_1, g_2, b_2 bestimmbar sind.

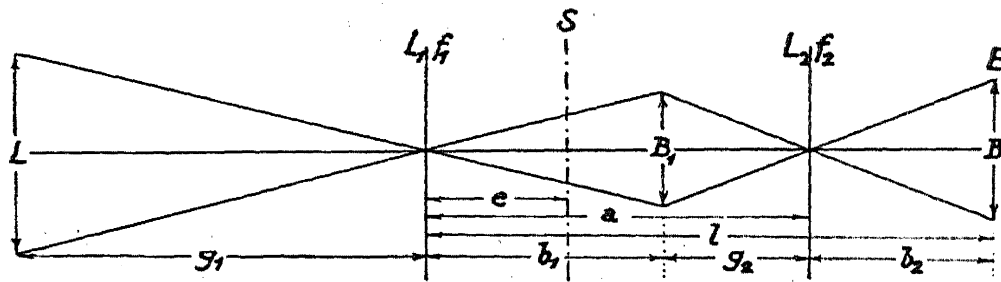



Abb. 131.

Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke in Abb. 131 ergibt sich $L : B_1 = g_1 : b_1$ sowie $B_1 : B = g_2 : b_2$ und damit $L : B = g_1 g_2 : b_1 b_2$ als sogenannte Vergrößerungsbedingung, der wir noch die Distanzgleichung $g_1 + e = D = C \cdot L$ hinzufügen.

Wenn man z. B. fordert, daß bei einem *Wild*-Universaltheodolit (später *Wild* T 2) mit $f_1 = +136$ mm, $f_2 = -101$ mm, $a_\infty = 100$ mm, $e = 65$ mm für die Gegenstandsweite $g_1 = 100$ m die Werte $C = 100$, $c = 0$ in aller Strenge vorhanden sein sollen, dann ergibt sich aus der Distanzbedingung $100{,}065 \text{ m} = 100\,L$ der erforderliche Lattenabschnitt $L = 1{,}00065$ m.

Mit den Werten b_1, g_2, b_2, die wir aus den Abbildungsgleichungen des obigen Systems für $g_1 = 100$ m gerechnet haben, wird nun aus der Vergrößerungsbedingung jener Strichabstand $B = L \dfrac{b_1\, b_2}{g_1\, g_2}$ bestimmt, der die gestellte Bedingung strenge erfüllt.

Für die in der folgenden Zusammenstellung enthaltenen Ergebnisse zum gewählten Beispiel findet man $B = 2{,}113$ mm und in diesem Abstand werden nun die Distanzstriche der Fadenplatte geteilt oder mikrophotographisch erzeugt.

Da diese Striche aber auch zur Ablesung des Lattenabschnittes in allen anderen Distanzen dienen, müssen Distanzfehler entstehen, die um so größer ausfallen, je mehr die zu messende Entfernung vom Ausgangswert 100,065 m abweicht.

Führt man z. B. die entsprechenden Rechnungen zu $g_1 = 50$ m aus, so ergibt sich $L = 0{,}500\,63$ m, und wenn dies mit $C = 100$ multipliziert wird, so entsteht $D = 50{,}063$ m $= g_1 + e$ oder $e = 63$ mm. Das bedeutet aber, daß die Formel $D = 100\,L$ streng für einen Punkt gilt, der nicht mehr genau in der Kippachse ($e = 65$ mm) liegt, sondern 2 mm v o r ihr.

Für die besonders kurze Entfernung $g_1 = 5$ m findet man in ähnlicher Weise, daß der Punkt, für den $D = 100\,L$ gilt, den Abstand $e = 81$ mm erhält, also 16 mm h i n t e r der Kippachse liegt.

In der folgenden Tabelle sind einige Kennzeichen des erwähnten *Wild*schen Fernrohrs zusammengestellt. Es bedeuten: a den Linsenabstand für die gewählte Gegenstandsweite g_1 und b_1, g_2, b_2 die zugehörigen optischen Werte, wobei immer $a + b_2 = l = 155{,}94$ mm den unveränderlichen Abstand der Fadenkreuzebene vom Objektiv ergeben muß. Der Betrag e stellt den Abstand des anallaktischen Punktes vom Objektiv dar und e' die entsprechende Abweichung der tatsächlichen Additionskonstante vom Wert $c = 0$.

Schließlich ist noch für jeden Abbildungsfall die zugehörige Äquivalentbrennweite F des Systems und mit der Okularbrennweite $F_3 = 8{,}8$ mm die tatsächliche Vergrößerung V des Fernrohres angegeben.

g_1	b_1	a	g_2	b_2	e	e'	F	V
m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	x
∞	136,00	100,00	36,00	55,94	—	—	211,3	24
200	136,09	100,16	35,93	55,78	52	—13	210,8	23,9
100	136,19	100,33	35,86	55,61	65	0	210,3	23,9
50	136,37	100,64	35,73	55,30	63	— 2	209,3	23,8
10	137,88	103,26	34,62	52,68	73	+ 8	201,2	22,9
5	139,80	106,70	33,10	49,24	81	+16	191,6	21,8

Bei Nichtbeachtung der besonderen optischen Verhältnisse würde hier die Anwendung der für ein gewöhnliches astronomisches Fernrohr geltenden Formel $C = \frac{F}{B}$ zur irrtümlichen Meinung führen, daß die aus der Tabelle ersichtliche Änderung der Äquivalentbrennweite F im Zusammenhang mit dem festbleibenden Fadenabstand B eine von der Distanz abhängige Multiplikationskonstante bewirkt.

Tatsächlich aber zeigt die Tabelle:

Der Nullpunkt für die nach der Formel $D = 100\,L$ berechneten Entfernungen wandert für den Distanzbereich von 200 m bis 5 m von einem Punkt, der $e' = 13$ mm v o r der Kippachse liegt, bis zu einem Punkt, der sich 16 mm h i n t e r der Kippachse befindet. Die

Annahme $c = 0$ ist daher um diese praktisch bedeutungslosen Beträge fehlerhaft.

Wir gelangen damit zur Erkenntnis, daß jedes entsprechend den dargestellten Grundsätzen konstruierte Fokussierfernrohr[31] als Träger eines optischen Distanzmessers benutzt werden kann.

Die bei Anwendung der Formel $D = 100\,L$ entstehenden Distanzfehler sind wesentlich kleiner als jene, die, wie wir noch sehen werden, durch Ablesungs- und Schätzungsfehler bei der Bestimmung des Lattenabschnittes L entstehen.

Obwohl die kurzen modernen Fokussierfernrohre für $C = 100$ und $c = 0$ eingerichtet sind, können längere Fernrohre (z. B. von Nivellierinstrumenten [26,4] u. U. wohl auch eine Additionskonstante aufweisen, deren Größe im Instrumentenbehälter meistens vermerkt ist oder aus der Gebrauchsanweisung hervorgeht.

Fehlt indessen diese Angabe, so wird der Beobachter nicht nur seinen persönlichen Wert von C ohnedies in der vorhin beschriebenen Art auf Vergleichsstrecken bestimmen, sondern auch c aus den auftretenden, annähernd konstanten Restwidersprüchen ermitteln können. Es ist dabei zu empfehlen, vorerst mehrere ganz kurze Strecken (bis zu 10 m) mit der Annahme $C = 100$ sehr genau optisch zu messen und die Restwidersprüche als Additionskonstante zu deuten, da die bei modernen Instrumenten immer nur kleine Abweichung von C gegen den Wert 100 sich bei kurzen Entfernungen sehr wenig auswirkt. Die tatsächlich immer vorhandene geringe Veränderlichkeit von c wird, wie oben dargestellt, stets nur wenige Zentimeter betragen.

Mit dieser allgemeinen und teilweise zusätzlichen Erörterung der optischen Verhältnisse sind die Unterlagen vorbereitet für die Darstellung der Einzelformen aller optischen Distanzmesser überhaupt.

25,22 Fadendistanzmesser

Im Sinne der in [23] gegebenen Übersicht unterscheiden wir Distanzmesser mit festem Abstand der Meßstriche und Ablesung der veränderlichen Basis (Distanzmesser von *Reichenbach*[32]) bzw. mit einem festen und einem mikrometrisch verschiebbaren Faden (Distanzmesser mit Okularmikrometer[33]).

Wenn auch diese letzteren vor allem für die Beobachtung eines festbleibenden, durch Zielscheiben dargestellten Lattenabschnittes und zur Erzielung größerer Genauigkeit ersonnen wurden, so können sie, bei Feststellung des beweglichen Fadens, so wie ein Distanzmesser von *Reichenbach* verwendet werden.

25,221 Distanzmesser von *Reichenbach*

Bei Anwendung der bisherigen Bezeichnungen lesen wir aus Abb. 132 die folgenden Beziehungen ab:

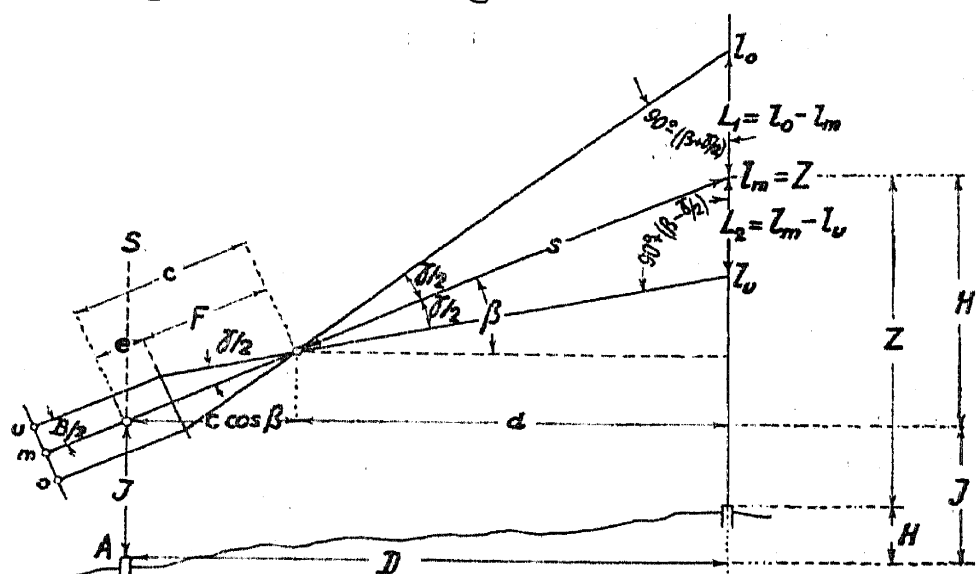



Abb. 132.

$$L_1 : s = \sin\frac{\gamma}{2} : \sin\left[90^0 - \left(\beta + \frac{\gamma}{2}\right)\right],$$

$$L_2 : s = \sin\frac{\gamma}{2} : \sin\left[90^0 + \left(\beta - \frac{\gamma}{2}\right)\right]$$

und erhalten

$$L = L_1 + L_2 = s\sin\frac{\gamma}{2}\left[\frac{1}{\cos\left(\beta + \frac{\gamma}{2}\right)} + \frac{1}{\cos\left(\beta - \frac{\gamma}{2}\right)}\right].$$

Nach Entwicklung der cos-Funktionen wird in den auftretenden Wert $\operatorname{tg}\frac{\gamma}{2} = \frac{B}{2F}$ die Multiplikationskonstante $C = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{B}}$ eingeführt und es entsteht völlig streng

$$d = s\cos\beta = C L \cos^2\beta - \frac{L}{4C}\sin^2\beta.$$

Da für den Grenzfall einer möglichen praktischen Anwendung, nämlich $L = 2$ m, $\beta = 45^0$, $C = 100$, das Schlußglied der obigen Formel den Betrag von nur 2,5 mm erreicht, wird es vernachlässigt, und man erhält die Formeln

$$d = C L \cos^2\beta, \qquad D = C L \cos^2\beta + c\cos\beta,$$

die für $\beta = 0$ in die schon bekannten Werte

$$d = C L, \qquad D = d + c = C L + c$$

übergehen.

Schließlich ergibt sich noch für die Bestimmung des Höhenunterschiedes:

$$H' = D \operatorname{tg} \beta = \frac{1}{2} C L \sin 2\beta + c \sin \beta, \quad H = H' + J - Z.$$

25,2211 *Die Bestimmung des Lattenabschnittes*

Die Ermittlung von $L = l_o - l_u$ erfolgt durch Abschätzung der Fadenlagen l_o und l_u in der Lattenzentimeterteilung, wobei die in [25,2213] genannten unvermeidlichen Ablesungsfehler eintreten[34].

Für größere Genauigkeit ist Einstellung eines Fadens und Ablesung des anderen zu empfehlen, wie es beim Meßvorgang zur Bestimmung der Multiplikationskonstante C beschrieben wurde [25,211].

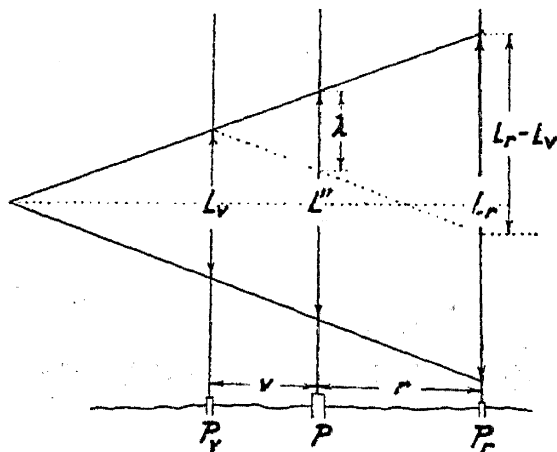
Will man ohne zusätzliches instrumentelles Hilfsmittel den Lattenabschnitt mit erhöhter Genauigkeit und vor allem völlig unbeeinflußt ermitteln, was sowohl für die Bestimmung der Multiplikationskonstante C erwünscht als auch dann von Nutzen ist, wenn einmal mangels anderer Geräte oder wegen Geländeschwierigkeiten Polygonseiten optisch nach dem Verfahren von *Reichenbach* gemessen werden sollen, so ist folgender Vorgang empfehlenswert.

Vom Standpunkt P der Latte aus trägt man in der Richtung der zu messenden Strecke (Abb. 133) die Entfernungen r und v kleiner als 2 m (etwa mit Springmaßstab oder Zollstab) auf Zentimeter genau ab und erhält so die Punkte P_r, P_v. Nach Ermittlung der Lattenabschnitte L_r bzw. L_v in diesen Punkten P_r, P_v berechnen wir aus ihnen den Lattenabschnitt L'' für den eigentlichen Streckenendpunkt P durch Interpolation der Werte L_r und L_v und vereinigen L'' mit dem Ergebnis der direkten Beobachtung L' in P zu einem nun wesentlich genaueren Mittelwert L.

Abb. 133.

Mit den aus der Abb. 133 ablesbaren Beziehungen

$$\lambda = (L_r - L_v) \frac{v}{v + r},$$

$$L'' = L_v + \lambda$$

betrachten wir das folgende Beispiel.

Beobachtungen:

$L' = 0{,}792$ m; $L_r = 0{,}807$ m, $r = 1{,}57$ m; $L_v = 0{,}773$ m, $v = 1{,}82$ m.

Ausrechnung:

$$\lambda = 34 \text{ mm} \frac{1{,}82}{3{,}39} \text{ (mit Rechenschieber)} = 18{,}3$$

$$L'' = L_v + \lambda = 0{,}7913 \text{ m}; \; L = \frac{L' + L''}{2} = 0{,}7917 \text{ m}.$$

Bei Beachtung der bestehenden höheren Genauigkeit von L'' könnte L auch als Gewichtsmittel [II 19] berechnet werden. Die Gewichte von L'' bzw. L' verhalten sich genähert wie etwa 3 : 2.

Als interessantes optisches Hilfsmittel für die genauere Bestimmung des Lattenabschnittes ist das Mikrometer *Barot*, ein Zusatzgerät zum Bussolentheodolit *Wild* TO [22,1], zu erwähnen[35].

Eine vor dem Objektiv aufsetzbare Planplatte ist um eine Achse kippbar, die bei horizontaler Zielung waagrecht liegt. Kippt man die Planplatte auf die Ablesung Null einer 10teiligen Skala, richtet den Horizontalfaden mit der Höhenfeinschraube des Fernrohrs auf den Rand eines Zentimeterfeldes der lotrechten Latte und kippt die Platte auf den Teilstrich 10 der Skala, so tritt eine vertikale Verschiebung des Lattenbildes von genau 1 cm ein.

Bei Neigung des Fernrohrs um den Höhenwinkel β wird die Kippachse der Planplatte in gleichem Ausmaß in einer Normalebene zur Zielachse verdreht. Die hiedurch eintretende geringe seitliche Bildverschiebung ist bei den praktisch vorkommenden Höhenwinkeln nahezu unmerklich, während die bei voller Kippung der Platte entstehende vertikale Verschiebung stets der dem Höhenwinkel β zugeordneten verkürzten Länge eines Lattenzentimeters entspricht.

B e o b a c h t u n g s v o r g a n g. Man kippt die Platte auf den Nullstrich der Skala und stellt den oberen Reichenbach-Faden auf eine runde Lattenablesung L_0 ein. Der untere Faden gelangt dabei im allgemeinen in ein Zentimeterfeld und wird nun durch Kippung der Platte scharf auf eine Grenze dieses Zentimeterfeldes eingestellt. Der zwischen den Fäden liegende Abschnitt $L = L_u - L_0$ ganzer Zentimeter gibt die Meter der schiefen Entfernung an, während die ganzen bzw. die zu schätzenden Zehntelintervalle der Skala den Dezimetern bzw. Zentimetern der Schrägdistanz entsprechen.

Versuchsmessungen zeigten bei einmaliger Messung einer Distanz von 100 m einen m. F. von ± 4 cm.

25,2212 *Praktische Auswertung der Distanz- und Höhenformel*[36]

a) Größte Genauigkeit ergibt sich durch vollständige l o g a r i t h m i s c h e oder M a s c h i n e n a u s r e c h n u n g, wobei man die Beträge $c \cos \beta$ und $c \sin \beta$ einem (für das betreffende Instrument vorbereiteten) Täfelchen entnimmt.

b) Verwendung von sog. Tachymetertafeln (z. B. *Jordan, Reger, Rohrer*, in Fachkalendern usw.)[37] für Altgrad- oder Neue Teilung, in denen die Werte d und H' (für $C = 100$) mit den Argumenten L und β zusammengestellt sind.

c) Benutzung von sog. Tachymeterdiagrammen, die durch Ablesung oder Abgreifung den Wert d für $C = 100$ mit einer Genauigkeit von etwa 1—2 dm angeben lassen.

d) Verwendung von tachymetrischen Rechenschiebern.

Der Kreisrechenschieber von *Riebel* ermöglicht neben der in [9] erwähnten Bestimmung der zur allgemeinen Polygonzugrechnung erforderlichen Produkte $s \sin t$ bzw. $s \cos t$ auch die Ablesung der Werte $100\, L \cos^2 \beta$ bzw. $50\, L \sin 2\beta$ mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern.

Mit dem gewöhnlichen tachymetrischen Stabrechenschieber kann der Höhenunterschied H' und nicht nur d, sondern sogleich auch die Distanz D sehr rasch abgeschoben werden, wenn man die folgende praktisch zulässige Näherung einführt.

Ersetzen wir die Werte $c \cos \beta$ bzw. $c \sin \beta$ genähert durch die Ausdrücke $c \cos^2 \beta$ bzw. $\frac{1}{2} c \sin 2\beta$, so entstehen Fehler f, die für gebräuchliche Werte von c und bei praktischen Messungen vernachlässigbar sind. Es ergeben sich nämlich, z. B. für $c = 100$ mm:

β	$c \cos \beta$	$c \cos^2 \beta$	f_D	$c \sin \beta$	$\frac{1}{2} c \sin 2\beta$	f_H
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0°	100	100	0	0	0	0
5	100	99	1	9	9	0
10	99	97	2	17	17	0
20	94	88	6	34	32	2
30	87	75	12	50	43	7
45°	71	50	21	71	50	21

Wir schreiben daher die vorhin angegebenen Grundformeln genähert mit

$$D \doteq C\, L \cos^2 \beta + c \cos^2 \beta = C\,(L + \frac{c}{C}) \cos^2 \beta = C\, L' \cos^2 \beta,$$

$$H' \doteq \frac{1}{2}\, C\, L \sin 2\beta + \frac{1}{2}\, c \sin 2\beta = \frac{1}{2}\, C\,(L + \frac{c}{C}) \sin 2\beta = \frac{1}{2}\, C\, L' \sin 2\beta$$

und bezeichnen den Wert $L' = L + \frac{c}{C}$ als den — wegen der Additionskonstante c — reduzierten Lattenabschnitt.

Diese Formeln können nun entweder so wie oben unter a) bis c) angegeben ausgewertet werden oder mit dem gewöhnlichen tachymetrischen Rechenschieber, u. zw. in der folgenden Art.

1. $C = 100$.

Nullpunkt der $\cos^2 \alpha$-Teilung (wobei die auf den Schiebern eingravierte oder aufgedruckte Bezeichnung α unserer Bezeichnung β für den Höhenwinkel entspricht) einstellen auf L'. Über dem Strich α der $\cos^2 \alpha$-Teilung bzw. unter dem Teilstrich α der $\frac{1}{2} \sin 2\alpha$-Teilung wird D bzw. H' abgelesen.

2. C ungleich 100.

Bestimmung der Einstellmarke durch: Einstellung des Nullpunktes der $\cos^2 \alpha$-Teilung auf den Wert C an der unteren Zahlenteilung und „Marke" ziehen in der $\cos^2 \alpha$-Teilung des Schiebers über dem Strich 100 der unteren Zahlenteilung.

Da der Abstand zwischen dieser „Marke" und dem Nullpunkt der $\cos^2 \alpha$-Teilung dem Wert von $\log C - \log 100$ entspricht, also das Verhältnis $\frac{C}{100}$ in der Formel $D = \left(\frac{C}{100}\right) 100\, L' \cos^2 \alpha$ berücksichtigt, wird nun diese „Marke" fortan auf L' eingestellt und bei α der zugehörige Wert von D bzw. H' abgelesen.

Für sehr kleine Höhenwinkel fällt u. U. der Strich α der $\frac{1}{2} \sin 2\alpha$-Teilung nicht mehr in den Bereich der Zahlenteilung für H'. In diesem Fall stellt man auf $k \cdot L'$ (z. B. $k = 10$) ein und erhält damit $k \cdot H'$.

Auch bei sorgfältiger Einstellung und Ablesung ist beim gewöhnlichen Rechenschieber ein Auswertungsfehler von 1—2 dm kaum zu vermeiden. H' wird mit etwas größerer Genauigkeit erhalten.

Wenn man einen Lattenabschnitt nach dem vorne angedeuteten Verfahren aus L_r und L_v (Abb. 133) mit größerer Genauigkeit bestimmt hat, wird man diese nicht durch Auswertung mit einem Rechenschieber nachträglich wieder zerstören, sondern selbstverständlich D und H' immer streng berechnen.

25,2213 *Fehlereinflüsse bei der Distanzmessung nach dem Verfahren Reichenbach*[38]

a) Parallaxe.

Sie wirkt besonders schädlich und ist daher stets genauestens zu beseitigen nach dem für die parallaxfreie Einstellung eines Meßfernrohres in [16,51] angegebenen Verfahren.

b) Unvermeidliche Ablese- bzw. Schätzungsfehler.

Sie sind eine Funktion der Güte des Fernrohres, u. zw. insbesondere seines Auflösungsvermögens, der Fadenstärke (Fadendicke) und des beobachtenden Auges. Der Schätzungsfehler m einer Fadenlage wird gewöhnlich bei Entfernungen unter 100 m in einer Zentimeterteilung mit $m = \pm 1$ mm angenommen und steigt dann verhältnismäßig rasch an. Bis zu etwa 50 m kann ein sorgfältiger Beobachter bei einiger Übung $\pm$ 0,5 mm erreichen.

Der Einstellfehler auf eine Zentimetergrenze ist erfahrungsgemäß kleiner als der Ablesungsfehler, so daß man bei erwünschter höherer Genauigkeit den Lattenabschnitt vorerst durch Ablesung beider Fäden bestimmt und dann durch Einstellung eines Fadens und Ablesung des anderen Fadens überprüft, wie es beim Meßvorgang zur Bestimmung der Multiplikationskonstante [25,211] erwähnt wurde.

c) Schiefstehende Latte[39].

Eine Lattenneigung n gegen die Lotrechte erzeugt zur Entfernung d einen Distanzfehler in der Größe von

$$U = d \cdot n \cdot \operatorname{tg} \beta.$$

In der folgenden Tabelle sind für verschiedene Höhenwinkel β und Haltearten der Latte die entstehenden Fehler U (in Dezimetern) für eine Entfernung $d = 100$ m angegeben.

Halteart	Lattenschiefe	Höhenwinkel					
	n	0°	5	10	20	30	45°
mit Dosenlibelle oder Senkel	1 : 100 (35′)	0	1	2	4	6	10 dm
gut freihändig	1 : 50 (70′)	0	2	4	7	12	20 dm
schlecht freihändig ..	1 : 25 (140′)	0	3	7	15	23	40 dm

Schon bei Lotrechthaltung der Latte mittels Dosenlibelle oder Senkel entstehen für größere Fernrohrneigungen so beträchtliche Distanzfehler, daß an und für sich gute Beobachtungen zu schlechten Entfernungen führen müssen.

Besonders aber bei freihändiger Haltung ist der Lattenträger leicht veranlaßt, nur auf seitlich richtige Haltung zu achten, da ein diesbezüglicher Haltefehler, als Neigung der Latte gegen den Vertikalfaden, vom Beobachter sehr wohl erkannt, eine Neigung in der Zielrichtung aber nicht bemerkt wird. Man überzeugt sich ohne weiteres, daß die zur Lattenschiefe 1 : 50 gehörige Abweichung von

8 cm des oberen Endes der Latte (von 4 m Länge) gegen die Lotrichtung nicht einmal einem seitwärts Stehenden leicht auffällt, geschweige denn dem Träger der Latte, der während der Ablesungen meist zum Instrument blickt.

Gerade bei Vermessungen im Gebirge, wo der optischen Distanzmessung nach *Reichenbach* heute oft noch bzw. oft wieder tragende Bedeutung zukommt, sollte die Latte mit größtmöglicher Genauigkeit, d. h. mindestens durch Anhaltung eines Senkels, lotrecht gerichtet werden.

Bei Verwendung einer Dosenlibelle muß diese vorerst an der mit einem Senkel oder zwei seitlichen Instrumentständen lotrecht gestellten und verspreizten Latte berichtigt, d. h. zum Einspielen gebracht werden.

d) Differentialrefraktion.

Da das Ausmaß dieser in [25] erläuterten einseitig wirkenden Fehlerquelle bei praktischen Messungen unbekannt ist, soll man sehr bodennahe Zielungen, insbesondere über sonnenbestrahltem bloßem Boden, immer vermeiden.

Bildflimmern[40] ist eine Folge heftiger Austauschbewegungen der Luft, also eher ein Zeichen für voraussichtlich verminderte Differentialrefraktion, und führt zu Ablesungsfehlern von wesentlich unregelmäßigem Charakter.

e) Fehlerhaftigkeit der Distanzmesserkonstanten C bzw. c.

Sie ist hinsichtlich c praktisch wohl immer bedeutungslos und muß bezüglich C durch entsprechende Beobachtung [25,211] und Berechnung [II 19] innerhalb der notwendigen Grenzen gehalten werden. Über die Auswirkung einer mangelhaften Bestimmung von C unterrichtet [II 15] bzw. [II 35]. Für praktische Bedürfnisse wird man $m_C = \pm 0{,}1$ anstreben und auch immer einhalten können, womit dann die hieraus fließenden Fehleranteile gleich groß jenen werden, die aus den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern des Lattenabschnittes fließen.

25,2214 *Genauigkeit der Reichenbachschen Distanzmessung*[41]

In einem Beispiel zur Anwendung des Fehlerfortpflanzungsgesetzes [II 15] wurde der Einfluß der fehlerhaft bestimmten Größen C, L, β auf das Ergebnis der Distanzmessung dargestellt und erkannt, daß für gewöhnliche Zwecke der Wert C auf $\pm 0{,}1$ genau ermittelt werden soll und der Lattenabschnitt L höchstens einen Fehler von ± 1 mm aufweisen darf, um eine Distanz von 100 m mit

der inneren Genauigkeit von 1—2 dm (1 : 1000 bis 1 : 500) zu erhalten. Die äußere Genauigkeit ist tatsächlich stets eine geringere, zufolge des in jedem Einzelfall wechselnden und nicht unmittelbar bekannten Einflusses einer restlichen Parallaxe, Lattenschiefe und der Differentialrefraktion.

Sind Höhenunterschiede mitzubestimmen, dann muß der Höhenwinkel β so genau, als es mit dem betreffenden Gerät möglich ist, beobachtet werden. Für Distanzmessung allein genügt geringere Genauigkeit von β. Tatsächlich wird in der Praxis der Höhenwinkel β vielfach genauer bestimmt, als es für diesen Zweck, nämlich alleinige Distanzmessung, notwendig ist [II 15].

Zur Erreichung einer höheren Genauigkeit ist Hin- und Rückbeobachtung wichtiger Strecken empfehlenswert. Die durch die Mittelbildung getilgten Fehler werden bei nur einseitiger Messung, z. B. in einem Springstand-Bussolenzug, voll in Erscheinung treten.

Zur Vermeidung der Differentialrefraktion wurden auch waagrechte Ableselatten angewendet[42], wie z. B. beim Distanzmesser *Heckmann-Breithaupt*[43]. Die beiden seitlich angeordneten Meßfäden sind gegeneinander, so wie die Lattenteilstriche, unter 1 : 10 geneigt (Abb. 134).

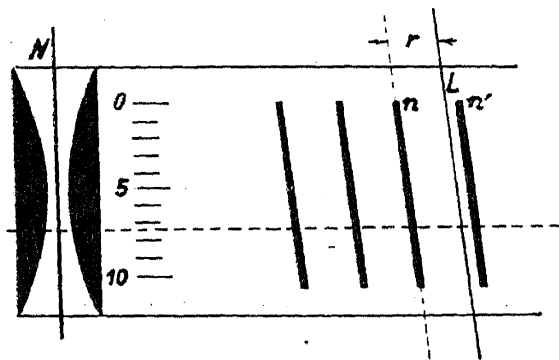



Abb. 134.

Wird der linke (lotrechte) Faden auf Lattennull N und der Horizontalfaden auf den Nullpunkt der vertikalen 10teiligen Hilfsskala am linken Lattenende eingestellt, so kommt der rechte geneigte Meßfaden L irgendwo zwischen die Zentimeterstriche von gleicher Neigung zu liegen, und die Ablesung lautet $L = n + r$. Durch Fernrohrkippung verschiebt man nun den Meßfaden bis zur Koinzidenz mit dem Strich n, wodurch der Horizontalfaden die in Abb. 134 gestrichelte Lage erhält. Die Maßzahl von r wird von dem Horizontalfaden in der vertikalen Hilfsskala angegeben. Mit $C = 100$ und $c = 0$ berechnet man zuerst die schiefe Distanz $s = 100\,L$ und weiter $D = s \cos \beta$.

25,222 Distanzmesser von *Friedrich* und *Tichy*

Beide Entfernungsmesser sind mit einem festen und einem beweglichen Faden versehen und arbeiten nach dem folgenden Grundsatz[44].

Der feste Einstellfaden wird durch Fernrohrkippung auf den Lattennullpunkt l_0 eingerichtet (Abb. 135) und erhält dadurch die Neigung β. Der bewegliche Faden gelangt durch Drehung des Okularmikrometers (Ganghöhe g) auf den Lattenpunkt l_u, und der distanzmessende Winkel γ ist durch die ganzen Umdrehungen (Zähl-

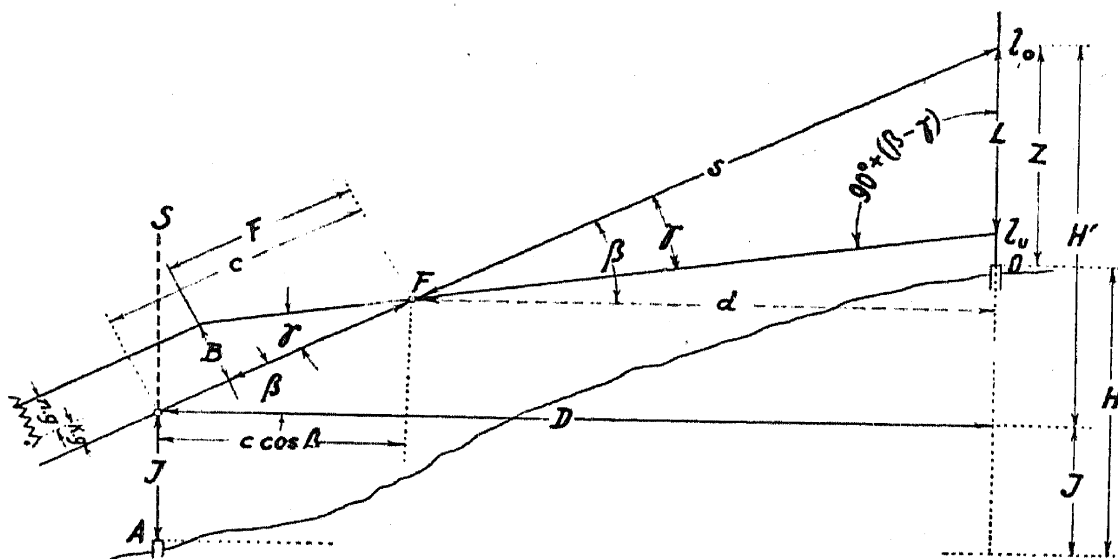



Abb. 135.

rechen im Gesichtsfeld) bzw. durch die Bruchteile bis Tausendstelumdrehungen (an der Trommelteilung) gegeben. Der durch Lochung bezeichnete Nullzahn des Zählrechens hat vom Einstellfaden den Abstand $k \cdot g$.

Aus Abb. 135 lesen wir ab:

$$B = (k + n)\, g, \quad l_0 - l_u = L, \quad s : L = \cos(\beta - \gamma) : \sin\gamma.$$

Hieraus entwickelt man

$$s = L\,\frac{\cos\beta\cos\gamma + \sin\beta\sin\gamma}{\sin\gamma} = L \operatorname{ct}\gamma\cos\beta + L\sin\beta$$

und mit den nachfolgenden Beziehungen

$$\operatorname{ct}\gamma = \frac{F}{B} = \frac{F}{(k+n)\,g}, \quad \frac{F}{g} = C, \quad \operatorname{ct}\gamma = \frac{C}{k+n}$$

entsteht schließlich

$$s = \frac{C\,L}{k+n}\cos\beta + L\sin\beta, \quad d = s\cos\beta = \frac{C\,L}{k+n}\cos^2\beta + L\sin\beta\cos\beta,$$

$$D = d + c\cos\beta = \frac{C\,L}{k+n}\cos^2\beta + L\sin\beta\cos\beta + c\cos\beta.$$

$$H' = D \operatorname{tg} \beta = \frac{1}{2} \frac{C L}{k + n} \sin 2 \beta + L \sin^2 \beta + c \sin \beta .$$

Von den Konstanten C, k, c der voranstehenden Formeln wird c wieder durch direkte Abmessung [25,21] gefunden, während man die Multiplikationskonstante C und die Fadenkonstante k durch den Vergleich optischer Beobachtungen von L zu sehr genau bekannten Strecken d, bei waagrechter Zielung ($\beta = 0$) aus $d = \frac{C L}{k + n}$ in nachfolgender Art ermittelt.

Auf einer Latte sind Zielscheiben in verschiedenen Abständen befestigt, so daß es durch Verschiebung des einen Lattenteiles mit der oberen Scheibe stets gelingt, für die gleiche Distanz d einmal ein möglichst kleines Lattenstück L_1, dann aber auch einen möglichst großen Abschnitt L_2 zu beobachten, wodurch wir erhalten

$$d = \frac{C L_1}{k + n_1} = \frac{C L_2}{k + n_2}, \qquad k = \frac{L_1 n_2 - L_2 n_1}{L_2 - L_1}.$$

Je größer $(L_2 - L_1)$ ausfällt, desto genauer ergibt sich k. Nach Bildung des einfachen oder Gewichtsmittels aller k-Werte für etwa 5 Vergleichsstrecken d_i, deren längste den späteren Meßbereich begrenzt, wird für alle Distanzen d_i die zugehörige Multiplikationskonstante

$$C_i = d_i \frac{k + n_2}{L_2}$$

nur mit den großen Lattenabschnitten L_2 berechnet. Der Endwert C entsteht schließlich wieder durch einfache oder auch u. U. durch Gewichtsmittelbildung [II 18].

Praktische Messungen werden immer mit dem größtmöglichen Zielscheibenabstand ausgeführt, d. h. mit voller Ausnutzung des Bereiches der Meßschraube, wobei man n wiederholt beobachtet, schließlich mittelt und die Formeln rechnerisch auswertet.

Bei Verwendung von Schiebelatten (Abb. 127), die sich mit Hilfe einer Skala (ähnlich wie beim Tangentialdistanzmesser [25,12]) auf runde dm-Werte von L auch im Felde sehr genau einstellen lassen, kann der betreffende Scheibenabstand später daheim wiederhergestellt und scharf nachgemessen werden.

Hiedurch ist eine verhältnismäßig hohe relative Genauigkeit von bis etwa 1 : 4000 auch für jene u. U. über 200 m langen Strecken erzielt worden, wie sie früher bei Polygonzügen mit Nonientheodolit-Winkelmessung allgemeiner üblich waren als heute, wo man die bei präziser Kreisablesung möglichen kürzeren Seiten sehr genau mit modernen optischen Distanzmessern bestimmt.

Dieser eben besprochene Distanzmesser wurde von dem ehemaligen Forstrat *Friedrich*[45] zur optischen Ermittlung der bis zu 400 m betragenden Polygonseiten im Bereich der österreichisch-ungarischen Staatsforstvermessung ersonnen.

Für gewöhnliche Zwecke (Ableselatte mit Zentimeterteilung) und Entfernungen bis zu 150 m kann jener Wert n_0 an der Schraube eingestellt werden, bei dem der Ausdruck $K = \frac{C}{k + n_0}$ einen praktischen runden Betrag (z. B. $K = 100$) annimmt. Nach Feststellung (Klemmung) der Mikrometerschraube ist dann so wie mit festen Fäden zu beobachten und nach den folgenden Formeln zu rechnen:

$$D = KL \cos^2 \beta + L \sin \beta \cos \beta + c \cos \beta, \; H' = D \operatorname{tg} \beta, \; H = H' + J - Z.$$

Der in diese Gruppe zu zählende Distanzmesser von *Tichy*[46] zeigt gegenüber der eben dargestellten Einrichtung die folgenden Änderungen.

Der feste Einstellfaden ist durch den Nullzahn des Zählrechens gezogen ($k = 0$), so daß sich die Trommelablesung Null ergibt, wenn der bewegliche Faden den festen deckt.

Durch Einbau einer Zwischenlinse von *Porro* [25,213] entsteht $c = 0$. Die Äquivalentbrennweite F des Systems der Objektiv- und Zwischenlinse bzw. die Ganghöhe g der Meßschraube wurde so gewählt, daß sich ergibt $C = \frac{F}{g} = 500$. Dadurch gehen die vorhin für den *Friedrich*schen Distanzmesser entwickelten Formeln in die folgenden über:

$$D = 100\, L \left(\frac{5 \cos^2 \beta}{n} + \frac{\sin \beta \cos \beta}{100} \right) = 100\, L \cdot A,$$

$$H' = 100\, L \left(\frac{5 \sin \beta \cos \beta}{n} + \frac{\sin^2 \beta}{100} \right) = 100\, L \cdot B.$$

Die praktische Arbeit bei Verwendung von verschiebbaren Zielscheibenlatten vollzieht sich genau so wie es beim Distanzmesser von *Friedrich* angegeben wurde und liefert ebenfalls eine Genauigkeit von im Mittel bis zu **1 : 4000**.

Eine sehr interessante Möglichkeit für gewöhnliche Tachymetrie bietet die Benutzung einer Ableselatte und der sog. Stellzahlen[47] n_A bzw. n_B, d. i. jener Werte von n, für die, bei gegebener Fernrohrneigung β, z. B. die Bedingung $A = 1$, $B = 1$ erfüllt ist.

Läßt man, nach Einstellung des festen Fadens auf einen beliebigen Lattenteilstrich, die Höhenkreis-Versicherungslibelle einspielen, so ist n_A bzw. n_B mit zwei Marken auf einer Teilung neben

der Höhenkreisteilung ablesbar bzw. hinsichtlich der Tausendstelumdrehungen schätzbar. Nach Einstellung des Mikrometers auf die abgelesenen Werte n_A bzw. n_B und Ablesung des beweglichen Fadens an der Latte ergeben sich jene Abschnitte L_D bzw. L_H, für die gilt $D = 100\ L_D$ bzw. $H' = 100\ L_H$.

Schließlich ist noch ohne nähere Begründung die unmittelbare Bestimmung des Logarithmus der Distanz D mit einer logarithmisch geteilten Latte zu erwähnen[48].

Wenn man den festen Faden auf den Nullpunkt der Latte richtet und die Mikrometerschraube auf $n = 5{,}000$ bringt, gelangt der bewegliche Faden zwischen zwei Striche l_n und l_{n+1} der logarithmischen Lattenteilung mit dem Strichintervall $l_{n+1} - l_n = 0{,}01$. Durch l_n ist somit die zweite Dezimalstelle von $\log D$ festgelegt. Stellt man nun den beweglichen Faden mit der Meßschraube auf l_n zurück, so gelangt der Nullstrich der Trommelteilung unter eine neben dem Ableseindex befindliche Hilfsteilung. Ihre Intervalle geben die dritte Dezimalstelle, und die zu schätzenden Zehntelintervalle bestimmen die vierte Dezimalstelle des gesuchten Wertes von $\log D$.

Im Wesen sind auch bei diesen beiden Entfernungsmessern die unter [25,2213] erwähnten Fehlerquellen wirksam. Ein zusätzlicher regelmäßiger Fehlereinfluß würde auftreten, wenn man den im Felde durch Verschiebung hergestellten Rohbetrag des Zielscheibenabstandes in die Rechnung einführt, d. h. darauf verzichtet, später daheim die betreffende Stellung der Zielscheiben zu rekonstruieren und ihren Abstand genau zu messen.

Die Konstanten C bzw. k müssen nach dem angegebenen Verfahren auf mindestens $\pm$ 0,1 bzw. $\pm$ 0,001 sichergestellt werden. Die entsprechende Genauigkeit von $\pm$ 0,001 des Wertes n erreicht man durch wiederholte unabhängige Messung gegen den Druck der Mikrometerfeder.

25,23 Diagrammtachymeter

Wir beschränken uns auf eine nur kurze Darstellung der hier maßgebenden Grundsätze, u. zw. unter Bezug auf das sog. Reduktionstachymeter von *Hammer-Fennel*[49].

Die Diagrammkurven befinden sich in einem Gehäuse auf einem Glasplättchen, das mit der Kippachse fest verbunden ist und deren Drehung mitmacht. Die das Glasplättchen durchsetzenden Strahlen werden von Prismen zum Okular abgelenkt, so daß die Kurven gleichzeitig mit dem gewöhnlichen Fadenkreuz scharf erscheinen.

Diese Kurven sind, wie nachfolgend dargestellt, so berechnet, daß zwischen ihnen stets ein Lattenabschnitt liegt, der, mit bestimmten Konstanten multipliziert, sogleich die Horizontaldistanz D angibt bzw. den Höhenunterschied H' zwischen dem Lattenpunkt mit der festen Zielhöhe $Z = 1{,}40$ m und der Kippachse des Instrumentes.

Da die Optik des Fernrohres den Scheitel des distanzmessenden Winkels γ in die Stehachse verlegt, erkennen wir aus Abb. 136 die folgenden Beziehungen

Abb. 136.

$$D = C L_D, \quad s = L_D \frac{\cos(\beta + \gamma)}{\sin\gamma},$$

$$D = s\cos\beta = L_D \frac{\cos\beta\cos\gamma - \sin\beta\sin\gamma}{\sin\gamma}\cos\beta,$$

$$D = L_D(\cos^2\beta\,\mathrm{ct}\,\gamma - \sin\beta\cos\beta) = C\,L_D,$$

$$\mathrm{tg}\,\gamma = \frac{\cos^2\beta}{C + \sin\beta\cos\beta} = \frac{{}_D B_\beta}{F}.$$

Jene zur Distanz D und zum Höhenwinkel β gehörige Bildgröße ${}_D B_\beta$, die mit der Äquivalentbrennweite F den geforderten parallaktischen Winkel γ erzeugt, erhält somit den Wert

$${}_D B_\beta = \frac{F\cos^2\beta}{C + \sin\beta\cos\beta}.$$

In gleicher Art kann mit der Bedingung $H' = C_H\ L_H$ auch ein Diagramm abgeleitet werden, das bei der gegebenen Neigung β den entsprechenden Abschnitt L_H mit einer Bildgröße ${}_H B_\beta$ ablesen läßt, nämlich

$$H' = C_H L_H, \quad H' = s\sin\beta = L_H \frac{\cos(\beta + \gamma_H)}{\sin\gamma_H}\sin\beta.$$

Durch Entwicklung findet man

$$C_H = \frac{\cos\beta\sin\beta\cos\gamma_H - \sin^2\beta\sin\gamma_H}{\sin\gamma_H} = \cos\beta\sin\beta\,\mathrm{ct}\,\gamma_H - \sin^2\beta,$$

$$\operatorname{tg}\gamma_H = \frac{\cos\beta\sin\beta}{C_H + \sin^2\beta} = \frac{{}_H B_\beta}{F}, \quad {}_H B_\beta = \frac{F\cos\beta\sin\beta}{C_H + \sin^2\beta}.$$

Aus praktischen Gründen sind zwei Höhenkurven vorgesehen, nämlich eine für $C_H = 10$ und eine für $C_H = 20$, die in gewissen Höhenwinkelbereichen auch eine Kontrollbestimmung von H' ermöglichen.

Bei waagrechter Zielung ($\beta = 0$) erscheinen in der Fernrohrlage I des Instrumentes die Kurven und sonstigen vorhandenen Striche des Diagramms so wie es die Abb. 137 anzeigt.

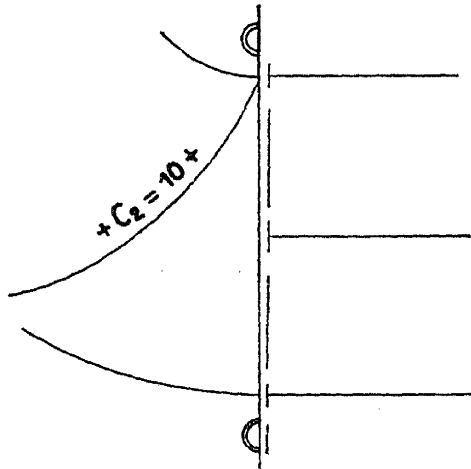



Abb. 137.

Knapp neben dem durchbrochenen Vertikalfaden für die Horizontalwinkelmessung durchschneidet die Kante des erwähnten Ablenkungsprismas das Gesichtsfeld derart, daß bei berichtigtem Distanzmesser zwei kleine Doppelkreise genau halbiert sind. Im rechten Halbteil des Gesichtsfeldes erblickt man die waagrechten Striche für gewöhnliche *Reichenbach*sche Distanzmessung. Als Nullfaden gilt der in der Fernrohrlage I oben befindliche Strich, der die Grundkurve des Diagramms tangiert. Sein Schnittpunkt mit dem Vertikalfaden bestimmt die Zielachse des Instrumentes.

Im linken Halbteil des Gesichtsfeldes sehen wir unten die Distanzkurve, die bei waagrechter Zielung vom unteren *Reichenbach*-Strich tangiert wird, während die Grundkurve und die mit $+C_2 = 10+$ bezeichnete Höhenkurve sich im Vertikalfaden bzw. in der Prismenkante schneiden. Eine zweite Höhenkurve, mit der Bezeichnung $+C_2 = 20+$, wird erst bei wachsender Fernrohrneigung sichtbar. Die zu Tiefenwinkeln gehörigen Höhenkurven sind durch Beisetzung des negativen Vorzeichens, z. B. $-C_2 = 10-$ oder $-C_2 = 20-$, kenntlich gemacht.

Es ist also festzuhalten, daß im tatsächlichen Diagramm jede Höhenkurve mit dem Index 2 hervorgehoben und die Distanzkurve unbezeichnet ist, während wir in der vorausgegangenen Erläuterung die Indizes H bzw. D verwendeten.

Die sog. Grundkurve des Diagramms ist ein Kreis, dessen Mittelpunkt genau in der Kippachse des Instrumentes liegt und dessen Radius (30 mm) vom Abstand des Diagramms über der Kippachse ab-

hängt. Werden mit dem Kreismittelpunkt als Pol, und von der Nullkurve aus, die Werte ${}_{D}B_{\beta}$ bzw. ${}_{H}B_{\beta}$ zu den entsprechenden Neigungen β aufgetragen, so entsteht einerseits die Distanzkurve und andererseits die Höhenkurve. Die Grundkurve und die Meßkurven schließen daher stets die vorausberechnete Bildgröße ein, wenn neben den allgemeinen für jeden Theodolit geltenden Forderungen noch die folgenden zusätzlichen Bedingungen erfüllt sind[50].

1. Bei einspielender Versicherungslibelle, waagrechter Zielung über den Nullfaden und Höhenkreisablesung Null geht auch die Grundkurve durch die Zielachse und wird daher vom Nullfaden tangiert.
2. Die Prismenkante liegt parallel zum Vertikalfaden.
3. Die Prismenkante geht durch die Symmetrale des Diagramms und halbiert die bereits genannten Doppelringe, deren Mittelpunkt auf dieser Symmetrale liegt.

Zur Herstellung dieser Forderungen dienen drei Richtschräubchen, die das abbildende optische System vor dem Okular im Fernrohrkörper verdrehen.

Die zu Punkt 1. etwa notwendige Verschiebung der Grundkurve bewirkt eine vertikale, verdeckte Schraube, die sich in Fernrohrlage I in einem kleinen Aufsatz oberhalb des Fernrohrs befindet und sichtbar wird, wenn man den abschließenden Rändelknopf abschraubt.

Die zweite Forderung ist durch Drehung der horizontalen, im gleichen Aufsatzkörper liegenden Schraube zu erfüllen, und die dritte Bedingung erreichen wir mit Hilfe einer waagrecht wirkenden Richtschraube, die ebenfalls abgeschlossen in Fernrohrlage I u n t e r dem l i n k e n Kippachsenlager angebracht ist.

Zur Messung der Horizontaldistanz und des Höhenunterschiedes richtet man durch Fernrohrneigung die Nullkurve auf die in der Zielhöhe $Z = 1{,}40$ m liegende Nullkeilmarke der Latte und läßt die Versicherungslibelle des Höhenkreises einspielen. Hiedurch wird dem Diagramm die zur automatischen Distanzreduktion erforderliche Lage erteilt.

Die Ablesung des Schnittes der Distanz- bzw. Höhenkurve mit der Lattenteilung gibt die Abschnitte L_D bzw. L_H zur Berechnung der Horizontalentfernung $D = 100\,L_D$ bzw. des Höhenunterschiedes $H' = 10\,L_H$ oder $H' = 20\,L_H$, je nachdem, ob mit der Kurve $C_2 = 10$ oder $C_2 = 20$ abgelesen wurde.

Da die durchschnittliche Instrumentenhöhe J zumeist sehr nahe um den Mittelbetrag $J = 1{,}40$ m schwankt, kann für gewöhnliche Zwecke $J - Z \doteq 0$ und daher $H = H'$ genommen werden. Bei genauer Arbeit berücksichtigt man die tatsächliche Instrumentenhöhe durch Hinzugabe von $J - 1{,}40$ m zum gemessenen Wert H'.

Die vorteilhafte Verwendung des Tachymeters von *Hammer-Fennel* ist begründet durch die E r s p a r n i s der R e d u k t i o n s r e c h n u n g bei tachymetrischer Geländeaufnahme [28] mit zahlreichen Punkten. Da man die Lattenabschnitte L_D bzw. L_H durch Schätzung in der Zentimeterteilung der Latte ermittelt, ergeben sich ähnliche Genauigkeitsverhältnisse wie bei der Distanzmessung nach *Reichenbach.*

Nach dem gleichen Grundsatz der Distanzreduktion mit Hilfe von geeigneten Diagrammen sind verschiedene Tachymeter erzeugt worden.

Wir erwähnen hier z. B. das Reduktionstachymeter Dahlta von *Zeiß*[51], dessen Fernrohrgesichtsfeld die Abb. 138 wiedergibt. Entlang der im untersten Teil sichtbar gemachten Höhenkreisteilung verläuft die Grundkurve. Stellt man den Vertikalstrich des Fadenkreuzes auf den Teilungsrand der lotrechten Latte ein und die Grundkurve auf die Mitte der Lattenkeilmarke, so gibt bei einspielender Versicherungslibelle die Ablesung der unbezeichneten

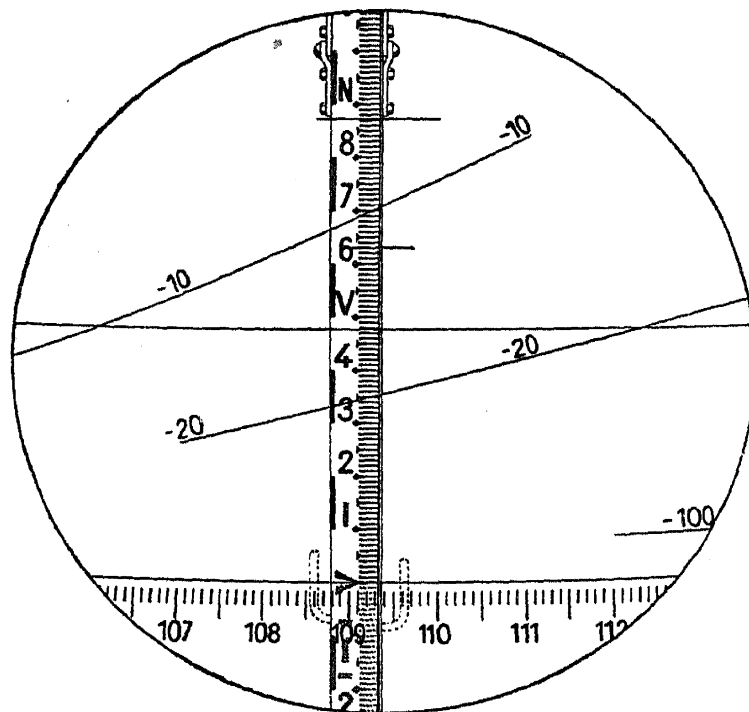



Abb. 138. *(Zeiß.)*

Distanzkurve die Horizontalentfernung ($D = 47{,}8$ m), während die beiden Höhenkurven den Höhenunterschied ($H' = -7{,}06$ m) anzeigen. Zugleich schneidet auch der Vertikalfaden in der Höhenkreisteilung die Zenitdistanz z ab ($z = 109{,}33^g$).

Bei dem Reduktions-Tachymeter-Theodolit DKR[52] von *Kern & Co. A. G.*, mit der in [18,252] besprochenen Doppelkreisteilung, befindet sich das Reduktionsdiagramm auf einem Glaskreis (der sich beim Kippen des Fernrohres zwangsläufig um ein außerhalb des Fernrohrs liegendes Zentrum dreht) in einem Schutzgehäuse unterhalb des Fernrohrokulars.

Bei allen derartigen Tachymetern ist die Genauigkeit der Distanz- und Höhenunterschiedsermittlung wesentlich von der Einschätzung der Kurvenlage in der Zentimeterteilung der Latte abhängig.

25,24 Keil- oder Doppelbilddistanzmesser

25,241 Allgemeine Grundlagen[53]

Die Grundform des Keildistanzmessers ist gekennzeichnet durch die Erzeugung des distanzmessenden Winkels mittels eines vor dem Objektiv des Fernrohrs angebrachten achromatischen Glaskeiles mit waagrechtem Hauptschnitt bei Verwendung einer horizontalen Latte.

Die Wirkung des optischen Keiles ist in [16,4] dargestellt worden. Dem Keilwinkel e entspricht der parallaktische Winkel

$$\gamma \doteq e\,(n-1) \doteq \frac{e}{2}.$$

Das Standrohr des Lattengestelles wird über dem Zielpunkt E mittels einer Dosenlibelle lotrecht errichtet und die dann waagrechte Latte um das Standrohr gedreht, bis die Visur mit einem Zielgerät (Lattendiopter) nach dem Instrument weist. In dieser Stellung soll die Teilungsfläche normal stehen zur gesuchten Entfernung AE. Den Abstand der Teilungsfläche von der Standrohrachse nennen wir c_L (Lattenanteil der Additionskonstanten) (Abbildung 139), den Abstand des Austrittspunktes K am Keil von der

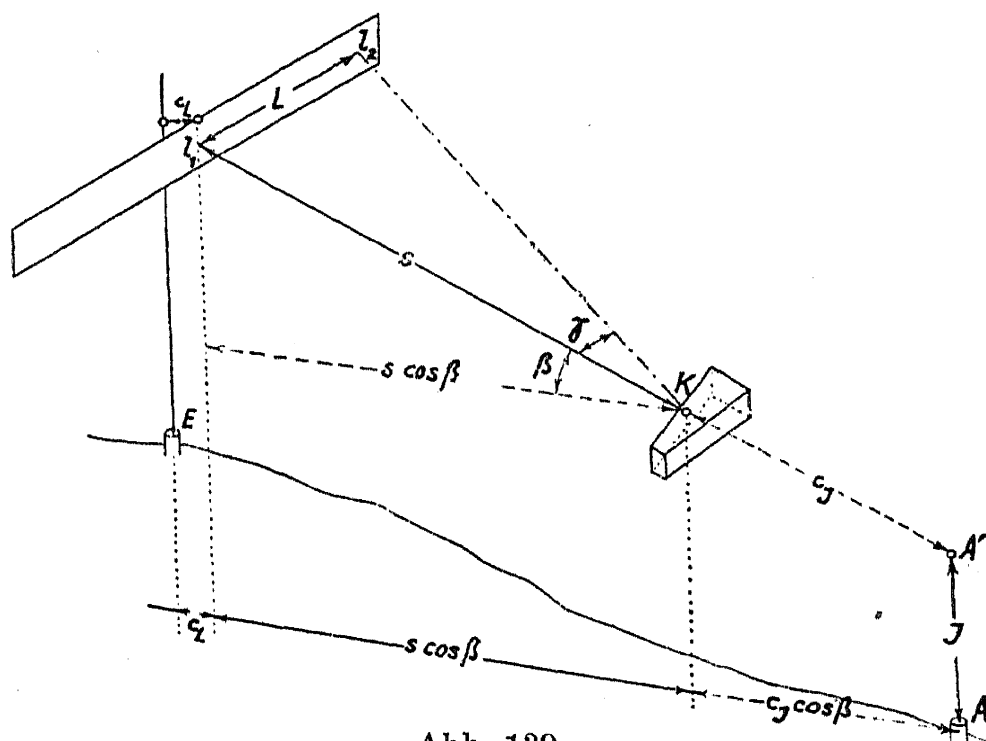



Abb. 139.

Stehachse heißen wir c_J (Instrumentaler Anteil der Additionskonstanten).

Denken wir uns in Abb. 139 den Keil entfernt oder ausgeschaltet (z. B. durch Abdeckung mit einer am Keilgehäuse vorhandenen

Klappe), so weist der aus dem Bildraum kommende Strahl $A'K$ im Objektraum nach dem Punkt l_1 der Latte. Bei der Einschaltung des Keils wird der Strahl $K\,l_1$ um den Winkel γ abgelenkt und trifft die Lattenteilung im Punkt l_2, so daß mit $(l_2 - l_1) = L$ sich ergibt $s = L \cdot \operatorname{ct} \gamma = L \cdot C$. Als schiefe Entfernung S (in der Neigung β) von A' bis zur Standrohrachse erhalten wir:

$$S = \frac{c_L}{\cos\beta} + s + c_J.$$

Führt man ein $\cos\beta = 1 - 2\sin^2\frac{\beta}{2}$ und daher

$$(\cos\beta)^{-1} \doteq 1 + 2\sin^2\frac{\beta}{2} + 4\sin^4\frac{\beta}{2} + \ldots,$$

so ergibt sich

$$S = c_L + 2c_L \sin^2\frac{\beta}{2}\left(1 + 2\sin^2\frac{\beta}{2}\right) + s + c_J = s + (c_L + c_J) + k_S =$$
$$= CL + c + k_S,$$

wobei wir zur Abkürzung gesetzt haben

$$c_L + c_J = c \quad \text{und} \quad k_S = 2c_L \sin^2\frac{\beta}{2}\left(1 + 2\sin^2\frac{\beta}{2}\right).$$

Als Horizontalentfernung erhält man demnach

$$D = S\cos\beta = (CL + c)\cos\beta + k_S\cos\beta = (CL + c)\cos\beta + k_D$$

und für k_D entsteht der Betrag

$$k_D = k_S\left(1 - 2\sin^2\frac{\beta}{2}\right) = 2c_L \sin^2\frac{\beta}{2}\left(1 + 2\sin^2\frac{\beta}{2}\right)\left(1 - 2\sin^2\frac{\beta}{2}\right),$$

$$k_D = 2c_L \sin^2\frac{\beta}{2}\left(1 - 4\sin^4\frac{\beta}{2}\right).$$

Bei völliger Strenge wäre also jede aus $D = (C \cdot L + c)\cos\beta$ ermittelte Distanz D noch um den Betrag k_D stets zu vermehren.

Bei den praktisch ausgeführten Lattenkonstruktionen findet man meist $c_L = 40$ mm, und k_D erreicht damit die folgenden Werte:

β	0°	10°	20°	30°	40°	45°
k_D	0	1	2	5	9	11 mm

In der Praxis beachtet man diese Korrektur nicht und rechnet mit den Formeln

$$S = C \cdot L + c, \quad D = S\cos\beta.$$

Der I d e a l f a l l optischer Distanzmessung wäre erreicht, wenn man rechnen könnte mit $S = 100\,L$, da die Reduktion mit $\cos\beta$ durch direkte Ausrechnung oder mit Hilfe von Tabellen leicht zu bewerkstelligen ist.

Die tatsächlich geltende Beziehung $S = s + c = CL + c$ formen wir in der folgenden Art um, nämlich

$$S = C\left(L + \frac{c}{C}\right) = 100\left(L + \frac{c}{C}\right) \cdot \frac{C}{100},$$

oder auch

$$S = 100\,(L'\,\text{cm}) \cdot \frac{C}{100} = 100\,(L')\left(\frac{C}{100}\,\text{cm}\right),$$

so daß man nun auch schreiben darf:

$$S = 100\,L''.$$

Hieraus erkennen wir:

1. Hat die g a n z e Distanzmeßeinrichtung (d. h. Latte und Instrument) eine Additionskonstante c, so wird diese berücksichtigt, indem der zu $c = 0$ gehörige Lattenabschnitt L um einen konstanten Betrag, die sog. N u l l p u n k t v e r s c h i e b u n g $\frac{c}{C}$, verändert wird.
2. Ist die Multiplikationskonstante C von 100 verschieden, so ist der für $C = 100$ geltende, in Zentimetern gemessene Lattenabschnitt L' in dem Verhältnis $C : 100$ zu verzerren, und die diesen Fall berücksichtigende Teilungseinheit hat dann die oben entwickelte Dimension $\frac{C}{100}$ cm.
3. Wird die in dieser Einheit geteilte Latte mit dem ihr zugehörigen Distanzmeßkeil (Multiplikationskonstante C) betrachtet, so hat der Punkt l_2 vom Nullpunkt l_1 den Abstand L'', und mit Hilfe der gewöhnlichen Bezifferung ist daher sofort die Schrägdistanz S ablesbar.

Nur die Art, in der die Ablesung selbst unter Anwendung zusätzlicher Hilfsmittel v e r f e i n e r t wird, unterscheidet die verschiedenen Ausführungsformen der Keildistanzmesser.

Wir wollen nun noch eine für das allgemeine Verständnis und auch für die Praxis wichtige Betrachtung über die Multiplikationskonstante C anschließen, indem wir aus [16,4] sinngemäß entnehmen, daß eine Änderung des parallaktischen Winkels um $d\gamma$ eine

Abweichung $d\,C = \frac{C^2}{\varrho}\,d\,\gamma$ der entsprechenden Multiplikationskonstanten erzeugt.

Für den in [16,4] angegebenen, praktisch möglichen Größtwert $d\,\gamma \doteq 2''$ entsteht $d\,C \doteq 0{,}1$, und es wird daher ein Keil, der $C = 100$ erhalten sollte, tatsächlich eine Multiplikationskonstante innerhalb der Werte 99,9 und 100,1 aufweisen können.

Bei der ersten Form des Präzisionsdistanzmessers *Wild* findet man in der Tat von den metrischen Einheiten m, dm, cm meßbar abweichende Lattenteilungsintervalle. Durch Nutzbarmachung verschiedener Möglichkeiten für die Abstimmung auf den Wert $C = 100$, u. zw. durch einen Abschlußkeil bei dem Reduktionstachymeter *Boßhardt-Zeiß* [25,245] bzw. durch eine zusätzliche Verschwenkung des Meßkeiles selbst in seinem Gehäuse, bei dem neuen Präzisionsdistanzmesser *Wild* DM 1 [25,244] kamen hinfort Latten mit metrisch genauen Intervallen zur Verwendung.

Auch bei allen Keildistanzmessern mit einer geringeren Ablesungsgenauigkeit, nämlich von etwa 5 Entfernungszentimetern, kann man auf die Verzerrung der Lattenteilung verzichten, und aus jenen Gründen, die wir anschließend noch erörtern werden, benützt man Latten mit metrischen Intervallen, die eine Teilungsgenauigkeit von etwa $\pm$ 0,02 mm aufweisen.

Mit dem Vorsatzkeil Dimeß von *Zeiß* wird z. B. der Wert der schiefen Distanz S an der Latte mit einem Nonius abgelesen, dessen Angabe, in Entfernung ausgedrückt, 5 cm beträgt. Auf Entfernungen bis zu etwa 50 m kann noch die halbe Noniusangabe, d. h. 2,5 cm, geschätzt werden, so daß ein unvermeidlicher Distanzfehler von mindestens gleicher Größe gegeben ist. Ab 1942 wurde die Doppelbildeinrichtung „Dimeß" in Verbindung mit einem Planplattenmikrometer erzeugt, wobei durch Herstellung der Strichkoinzidenz eine entsprechende Erhöhung der Meßgenauigkeit eintritt[53a].

Fragt man nun nach jenem Wert von dC, der unter der Annahme fehlerfreier Lattenablesung den Distanzfehler 2,5 cm bewirkt, so erhält man aus $S \doteq CL$ den Betrag $dC = \frac{dS}{L}$ und für $S \doteq 50$ m, $L \doteq 0{,}5$ m, $dS \doteq 25$ mm entsteht $dC \doteq 0{,}05$, was einem Winkelfehler $d\gamma \doteq 1''$ entspricht.

Da indessen nach unseren früheren Feststellungen im allgemeinen aus dem Schliff des Keiles ein Winkelfehler $d\gamma'' \doteq 2''$ zu erwarten ist, so erkennen wir, daß alle Vorsatzkeile mit einer Multiplikationskonstanten innerhalb $C = 100 \pm 0{,}1$ bei Verwendung einer Latte mit ge-

wöhnlicher Zentimeterteilung und einer Noniusangabe von 5—10 Distanzzentimetern nur solche regelmäßigen Distanzfehler erzeugen, die durch die zu erwartenden Ablesungsfehler mindestens auf kurzen und mittleren Entfernungen überdeckt sind, also praktisch voraussichtlich kaum in Erscheinung treten. Die oben angemerkte Schätzungsmöglichkeit der halben Noniusangabe ist nur dann von realem Wert, wenn der tatsächliche Betrag C des betreffenden Keiles bekannt ist.

Diesen tatsächlichen Wert $C = \operatorname{ct} \gamma$ von Distanzmeßkeilen, die zu Theodoliten mit sehr genauer Horizontalkreisablesung verwendet werden, kann man durch direkte Messung des parallaktischen Winkels bestimmen, u. zw. aus dem für einen horizontnahen Zielpunkt eintretenden Richtungsunterschied, der sich bei verdecktem bzw. eingeschaltetem Keil ergibt.

Durch die Einschaltung des Keiles treten für alle Keildistanzmesser Doppelbilder der Latte auf (Doppelbildtachymeter). Die hiedurch bei den einfachen Keildistanzmessern störende Bildmischung wird durch Schwärzung jener Lattenflächen behoben, die keine Teilung tragen.

Im Augenblick der Messung dürfen die untereinander liegenden Doppelbilder nur durch eine unmerkliche Linie getrennt sein. Man erreicht dies durch eine geringe Verdrehung um die Fernrohrachse, entweder des ganzen Distanzmesserkörpers (*Wild*) oder des Meßkeiles in seiner am Objektiv bereits festgeklemmten Fassung (*Zeiß* - Dimeß).

Wenn die Latte nicht genau waagrecht liegt oder nicht normal zur Zielung steht, kann diese feine Trennungslinie nicht einwandfrei hergestellt werden. Das dann sichtbare seitliche Auskeilen der Trennungslinie (Klaffen der Doppelbilder) ist nur durch Richtigstellung der Latte behebbar.

Der den Wert $C = \operatorname{ct} \gamma$ bedingende parallaktische Winkel $\gamma \doteq e\,(n - 1)$ stellt über den Brechungskoeffizienten n unmittelbar eine Funktion der wirksamen Lichtfarbe dar[54].

Da auch das nach der achromatischen Korrektur verbleibende sekundäre Spektrum [14,5] bzw. [16,4] bei einzelnen Beobachtern persönlich verschiedene Zielauffassung und überhaupt Wirkungen physiologischer Art auslösen kann, ist es immer zu empfehlen, jenen Wert C durch optische Distanzmessung auf sehr genau bekannten Vergleichsstrecken zu bestimmen, der der Eigenart, der sog. persönlichen Gleichung, des betreffenden Beobachters entspricht[54a].

Für gewöhnlich werden Abweichungen von C gegen den Wert 100 durch prozentuale Zuschläge zu den vorerst mit $C = 100$ berechneten Distanzen berücksichtigt.

Zur genauen Abstimmung auf den Wert $C = 100$ ist, wie schon erwähnt, beim Reduktionsdistanzmesser *Boßhardt-Zeiß* ein fein verdrehbarer Abschlußkeil vorgesehen, während der neue Präzisionsdistanzmesser *Wild* DM 1 zu dieser Justierung eine zusätzliche Verschwenkung des Meßkeiles benutzt.

25,242 Bestimmung des Lattenabschnittes

Wird die Latte bei ausgeschaltetem Keil betrachtet, so ergibt sich im einfachsten Fall der Anblick nach Abb. 140 a. Der Abstand

Abb. 140 a.

Abb. 140 b.

der Ablesemarke von dem Teilungsnullpunkt entspricht der Nullpunktverschiebung $\frac{c}{C}$ zur Berücksichtigung einer positiven Additionskonstanten c. Für eine negative Additionskonstante (älterer Präzisionsdistanzmesser *Wild* [25,244]) wäre die Marke auswärts der Teilung angebracht. Nach Einschaltung des Keiles und Herstellung der feinen Trennungslinie $l — l$, legt diese Marke den Lattenabschnitt L fest (Abb. 140 b).

Zu seiner Ermittlung bieten sich die folgenden Wege:

a) Schätzung des Reststückes in dem Teilungsintervall (i).

Abb. 141.

b) Messung des Reststückes mit einem Planplattenmikrometer (Abb. 141).

Die Platte ist vor dem Keil drehbar, u. zw. durch eine Meßschraube mit geteilter Trommel. Diese zeigt auf Null, wenn die Platte zum abgelenkten Strahl normal steht. Die entsprechend dimensionierte Platte wird durch eine volle Drehung der Schraube gerade soweit geschwenkt, daß die eintretende Parallelverschiebung v den Strahl über ein Teilungsintervall (i) an der Latte führt, $v = (i) \cos\gamma$. Wenn (i) einem Distanzmeter entspricht und die Meßtrommel 100 Teile aufweist, so ist an ihr das Reststück r in Distanzzentimetern ablesbar, falls man durch Drehung des Mikrometers die Ablesemarke der Latte mit dem die Distanzmeter angebenden Teilstrich zur Übereinstimmung bringt.

c) Messung des Reststückes mittels Nonius an der Latte.

Als Ablesemarke gilt der Noniusnullpunkt. Sind z. B. $n = 20$ Noniusintervalle vorhanden, so ergibt sich zum Teilungsintervall $(i) = 1$ cm die Noniusangabe $\nu = 0{,}5$ mm an der Latte, d. h. für $C = 100$ eine Entfernungsangabe von 5 cm. Nach Einschaltung des Keiles erhält man mit dem Doppelbild von Abb. 142 z. B. die Ablesung 33 m + 80 cm, denn es steht der achte längere Noniusstrich in Koinzidenz mit dem Strich 49 der Zentimeterteilung.

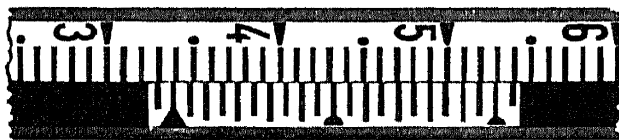



Abb. 142. *(Zeiß.)*

d) Verschärfung der Noniusablesung durch Vorschaltung eines optischen Mikrometers.

Tatsächlich wird die Beurteilung der Strichübereinstimmung bei der gewöhnlichen Noniusablesung nach dem vorigen Punkt c) nur innerhalb der einfachen, höchstens der halben Noniusangabe möglich sein. Durch Drehung eines dem Keil vorgeschalteten Plattenmikrometers, das ähnlich wirkt wie es unter dem vorausgehenden Punkt b) beschrieben wurde, stellt man genaue Strichkoinzidenz ein. Die Ablesung des koinzidierenden Noniusstriches gibt die Dezimeter, die Ablesung der Teile an der Mikrometertrommel aber zeigt den hinzuzufügenden Entfernungsrest in Zentimetern an. Zum Beispiel am Nonius 33,8 m, an der Trommel 3,4 Teile, d. i. 3,4 cm, und daher die Gesamtablesung 33,834 m.

Da das Mikrometer hier nur eine geringe, nämlich die der Noniusangabe entsprechende Parallelverschiebung zu bewirken hat, kann u. U. auch noch einer der benachbarten Noniusstriche zur Koinzidenz gebracht werden, so daß man z. B. erhält:

am Nonius 33,7 m, an der Trommel 13,8 cm und damit wieder die gleiche Entfernung 33,838 m.

Die hier angegebenen Möglichkeiten zur Bestimmung des Lattenabschnittes L sind bei den nachfolgenden Doppelbildtachymetern verwirklicht.

25,243 Distanzmesser mit Vorsatzkeil

Als Grundform nennen wir den Vorsatzkeil Dimeß von *Zeiß*[53a] (Abb. 143), der mit seinem Fassungsring auf die Objektive der *Zeiß*-Theodolite II, Th 40, III, IV zu stecken ist. Durch Ablesung des Nonius an der Latte erhält man die schiefe Distanz auf 5 cm, bei Schätzung der halben Noniusangabe auf 2,5 cm genau. Der Betrag der Horizontreduktion wird aus beigegebenen Tabellen entnommen.

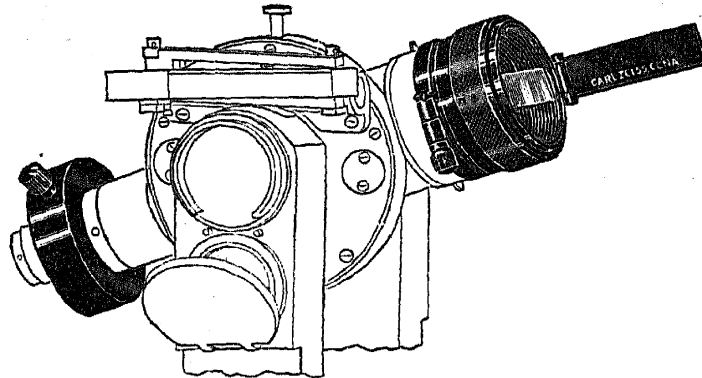



Abb. 143. (*Zeiß.*)

Die mit der Abb. 144 dargestellte Latte zum Distanzmesser Dimeß von *Zeiß* zeigt in der rechten oberen Hälfte zwei gleichartige Nonien, deren Nullpunkte 50 cm voneinander abstehen und von denen der äußere Nonius mit dem Zusatz + 50 gekennzeichnet ist. In der linken unteren Lattenhälfte sehen wir die bei etwas über 20 cm beginnende Zentimeterteilung. Alle teilungsfreien Flächen sind zur Ausschaltung von störenden Doppelbildern mattschwarz gehalten.

Um geringfügige Distanzfehler zu vermeiden bzw. niedrig zu halten, die als Folge einer Unsymmetrie[55] des Lattenabschnittes L bezüglich der Standrohrachse eintreten, verwendet man bei Distanzen über 50 m immer günstig den oben erwähnten äußeren Nonius.

Für die Messung von Entfernungen bis zu 20 m, die mit dem inneren Nonius nicht ablesbar sind, dient ein unter der Hauptlatte einlegbares metallenes Zusatzlättchen.

Wenn nach lotrechter Aufstellung des Standrohres mit der daran befestigten Dosenlibelle die Latte eingelegt und bei D geklemmt ist, wird ein Rand (meist der obere) des Halteringes an der Teilung der im Standrohr verschiebbaren Stange auf den Betrag der Instrumentenhöhe J eingestellt. Man läßt nun den Haltering am Außenrohr aufsitzen, zielt mit dem Diopter E durch horizontale Schwenkung der Latte nach dem Instrument und klemmt die Stange bei A.

In dieser meßgerechten Stellung ist die Latte zur gesuchten Entfernung normal gerichtet, die Trennungslinie der schwarz-weißen Flächen liegt waagrecht und in der Zielhöhe $Z = J$.

Für Entfernungen unter 50 m wird sich beispielsweise mit dem inneren Nonius eine Ablesung ergeben, wie sie mit Abb. 142 dargestellt ist. Indessen findet man bei Distanzen über 50 m den äußeren Nonius in einer Stellung entsprechend der Abb. 145. Seine Ablesung

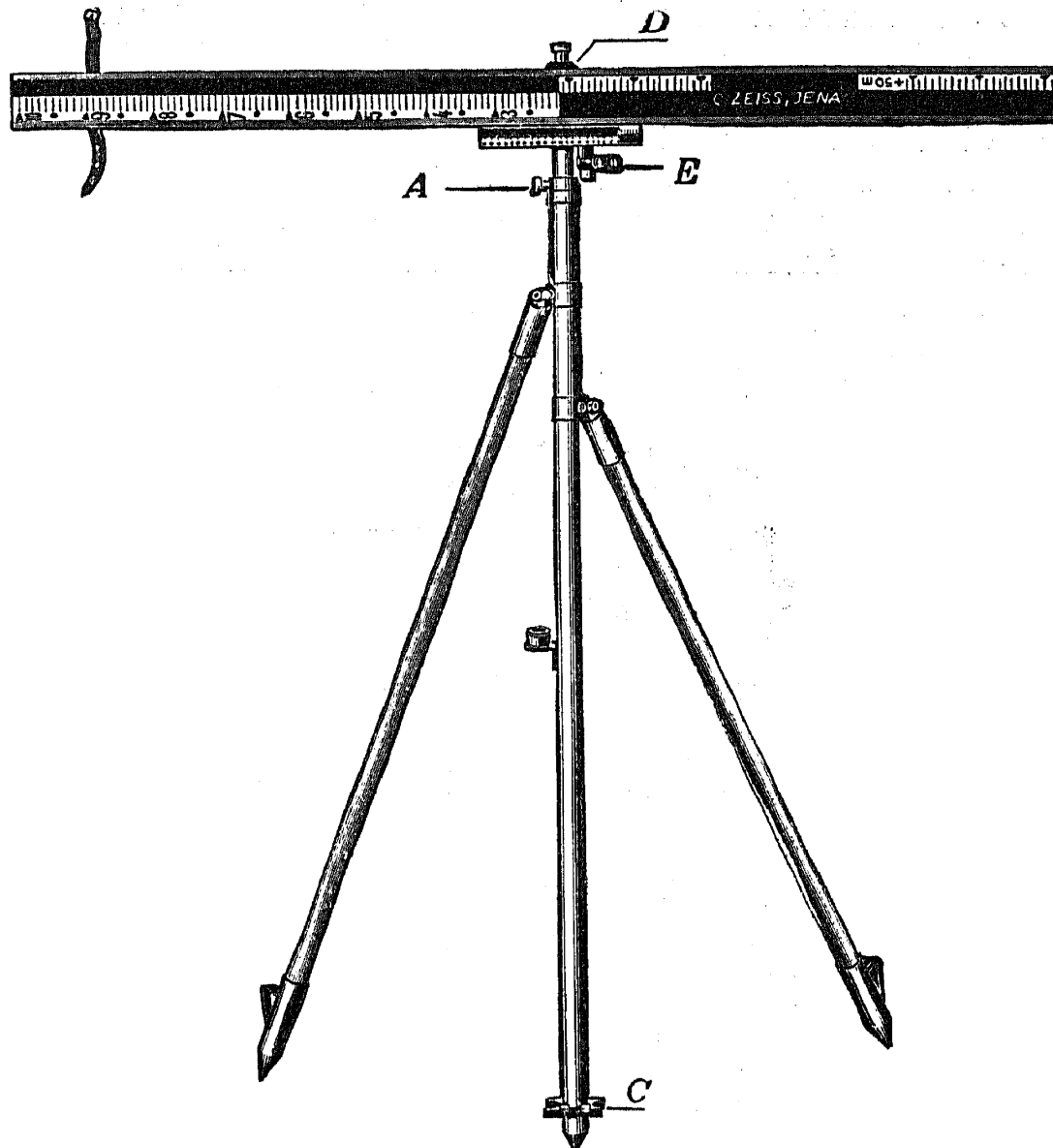



Abb. 144. *(Zeiß.)*

gibt 53,30 m, denn es koinzidiert der dritte längere Noniusstrich mit einem Strich (hier 59) der Hauptteilung und durch Zufügung der Nullpunktverschiebung von 50 cm = 50 Distanzmetern erhält man die Entfernung 103,30 m.

Abb. 145. *(Zeiß.)*

Nach der Distanzablesung wird der Horizontalfaden auf die feine Trennlinie zwischen Nonius und Teilung eingestellt, die berichtigte [21,2] Versicherungslibelle zur Einspielung gebracht und der Höhenkreis abgelesen. Hiedurch ergibt sich hinreichend genau die rohe Neigung β der ermittelten Schrägdistanz S. Ihre Reduktion auf den Horizont entnimmt man mit der beobachteten Höhenkreisablesung aus einer dem Instrument beigegebenen Tafel.

Für Höhenunterschiedsbestimmung muß die Neigung β entweder in beiden Fernrohrlagen beobachtet werden oder es ist, bei praktisch üblicher Messung in nur einer Fernrohrlage, der vorher ermittelte Indexfehler des Höhenkreises [21] zu berücksichtigen.

Die ähnlichen Distanzmesser[56] dieser Art, wie sie z. B. von *Fennel*[57] in Kassel; *Kern*[58] in Aarau, Schweiz; *Wild* in Heerbrugg, Schweiz (Abb. 146), u. v. a. erzeugt wurden, unter-

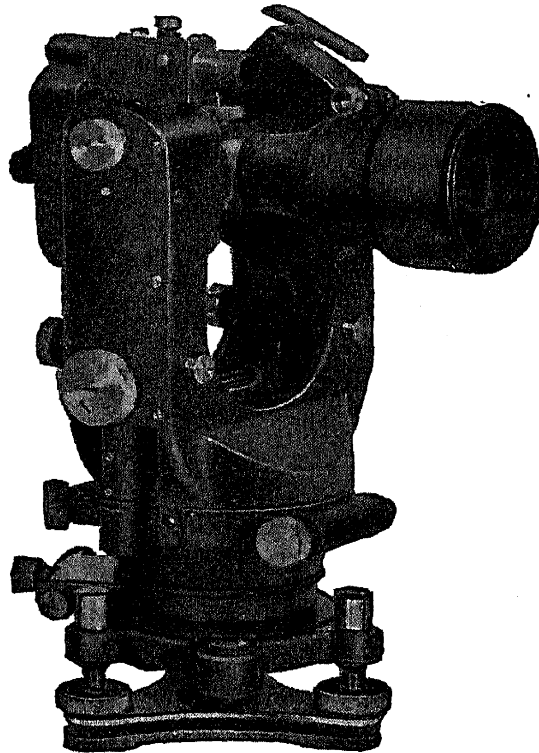



Abb. 146. *(Wild.)*

scheiden sich im Wesen nur durch die Keilform und -anordnung bzw. durch die verschiedenartige Ausführung der Latte und ihrer Aufstellvorrichtung.

25,244 Präzisionsdistanzmesser von *Wild*, Heerbrugg (Schweiz)

Bei der älteren ursprünglichen Form[59] waren in einem Distanzmeßkörper zwei Keile so übereinander eingebaut, daß jeder von

ihnen symmetrisch zur Zielachse die Ablenkung $\frac{\gamma}{2}$ erzeugte. Nach Aufstülpung dieses Distanzmeßkörpers vor das Objektiv des vormaligen *Wild*-Universal-Theodolites ist die Mehrbelastung durch ein Gegengewicht auf der Okularseite des Fernrohrs auszugleichen.

Jedem Keil ist eine Planplatte vorgelagert, die von einem gemeinsamen Mikrometer gleichzeitig und gegenläufig verschwenkt wird. Mit dieser Anordnung ist die zur Herstellung der Teilungskoinzidenz u. U. notwendige Verschiebung von bis zu einem halben

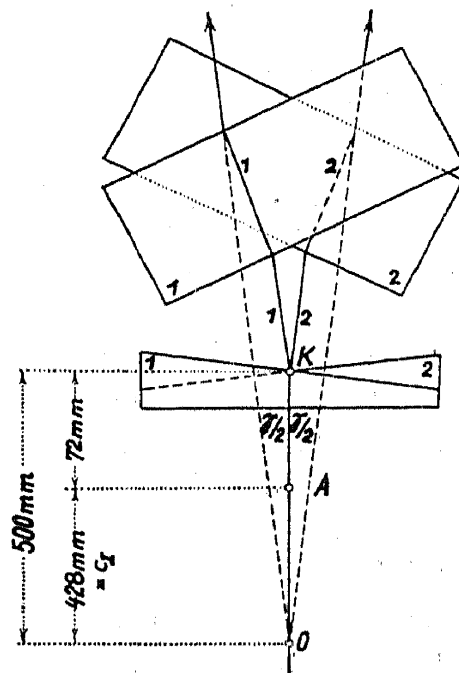



Abb. 147.

Teilungsintervall (i) auf beide Platten gleichmäßig verteilt, so daß diese bei verhältnismäßig kleinem Schwenkwinkel auch eine nur geringe Dicke erhalten.

In Nullstellung der Trommel liegt der Scheitel O des distanzmessenden Winkels 500 mm hinter der Stehachse A des Theodolites (Abb. 147), und da der Austrittspunkt K an den Keilflächen 72 mm vor der Kippachse A liegt, entsteht als instrumentaler Anteil der Additionskonstante der Betrag $c_J = -428$ mm. Zusammen mit dem Lattenanteil $c_L = 40$ mm ergibt sich daher überhaupt $c = c_J + c_L = -388$ mm, und diesen Betrag berücksichtigt man, wie in [25,241 Punkt 1.] angegeben wurde, durch eine entsprechende Verschiebung der Ablesemarke, u. zw. teilungsauswärts, wegen des hier geltenden negativen Vorzeichens.

Die Multiplikationskonstante jedes Distanzmessers wird im Laboratorium sehr genau bestimmt, und zur Ausschaltung ihrer Abweichung von $C = 100$ teilt man die Latten zu diesem Distanzmesser mit der entsprechenden Intervallgröße [25,241 Punkt 2.].

Wenn daher Distanzmeßlatten von *Wild* auf ihrer Rückseite die Instrumentnummer eines bestimmten Distanzmeßkörpers tragen, so dürfen sie n u r zu Beobachtungen mit d i e s e m Distanzmesser verwendet werden.

Die Messung der schiefen Entfernung S erfolgt durch Herstellung der Teilungskoinzidenz mit dem Plattenmikrometer. Man erhält die Meteranzahl der Distanz unmittelbar an der Latte aus der Ablesung koinzidierender Teilstriche, während die Meßtrommel den anzufügenden Entfernungsrest, bei Schätzung der Millimeter, angibt.

Hinsichtlich der Lattenaufstellung sind die diesbezüglichen Bemerkungen von [25,243] mit dem Hinweis zu ergänzen, daß statt der dort erwähnten Trennungslinie ein Zielscheibchen einzustellen ist, das durch die Anklemmung des Halteringes der Latte in die Zielhöhe $Z = J$ gelangt.

Auch hier wird der Höhenkreis nur in Fernrohrlage I bei einspielender berichtigter Versicherungslibelle abgelesen, und mit der so erhaltenen rohen Fernrohrneigung bestimmt man die Horizontreduktion für die beobachtete Schrägdistanz aus einer beigegebenen Tabelle.

Die im Fernrohrgesichtsfeld neben dem oberen und unteren *Reichenbach*-Meßfaden vorhandenen beiden seitlichen Striche sind für die Keildistanzmessung selbst ohne Bedeutung. Man benützt sie indessen zur seitlich symmetrischen Einstellung der Doppelbilder des Zielscheibchens vor Ablesung der Schrägdistanz, denn die symmetrische Anordnung der beiden übereinanderliegenden Meßkeile erfordert in diesem Fall die völlig symmetrische Lage des Lattenabschnittes bezüglich des Endpunktes der Meßstrecke.

Mit diesem ä l t e r e n Präzisionsdistanzmesser von *Wild* konnte im Durchschnitt eine Genauigkeit von 1 : 5000 erreicht werden. Bei Verwendung durch mehrere Beobachter ist die ihrer persönlichen Auffassung über Strichkoinzidenz usw. entsprechende Multiplikationskonstante zu bestimmen und in Rechnung zu ziehen.

Der neue Präzisionsdistanzmesser *Wild* DM 1 ist als Zusatzgerät für die *Wild*-Theodolite T 1 (Abb. 148 a) und T 2 konstruiert worden.

Ein über die Objektivfassung schiebbares Gehäuse (Abb. 148 b) enthält den Meßkeil und vor ihm eine Planplatte, die durch Mikrometertrieb um eine Achse verschwenkt wird, die in der Zielebene liegt. Keil und Platte überdecken einen horizontalen Streifen vor der Objektivöffnung. Auf dem Okularende dient ein Gegengewicht (Abb. 148 c) zum Belastungsausgleich.

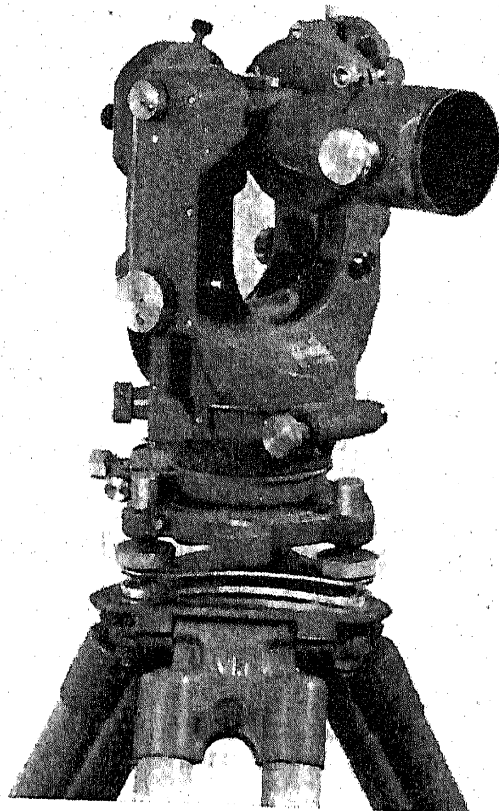



Abb. 148 a. *(Wild.)*

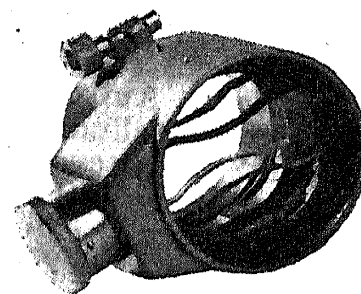



Abb. 148 b. *(Wild.)*

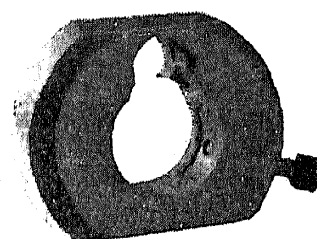



Abb. 148 c. *(Wild.)*

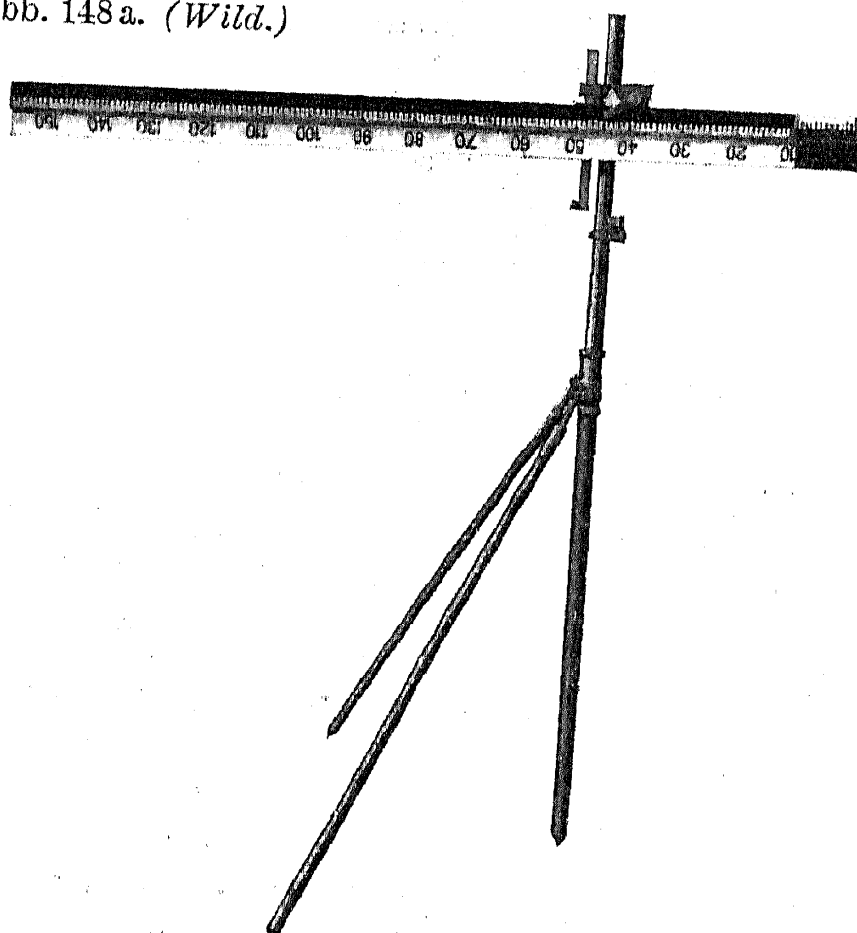



Abb. 149. *(Wild.)*

Die Zentimeterstrichteilung und der 10teilige Nonius (Angabe: 1 Distanzdezimeter) der Latte (Abb. 149) ist durch einen Deckel geschützt, dessen Innenseite, nach dem Aufklappen in Meßstellung, die Bezifferung zeigt. Das Standrohr (mit Zentimeterteilung zur Einstellung der in Lattenmitte liegenden Grenzlinie des schwarzen Lattenfeldes auf die Instrumentenhöhe J) ist mit Hilfe der Dosenlibelle und der mit Hülsen verschiebbaren Spreizen lotrecht zu richten. Der am Standrohr gleitende eigentliche Lattenhalter trägt das Diopter für die Anzielung des Theodoliten, eine Zielmarke für Richtungsbeobachtungen und den Riegel zur Anklemmung der eingelegten Latte.

Die Wirkungsweise des Distanzmessers ist im Grundzug durch die Angaben von [25,242 d)] erläutert.

Zur Berücksichtigung der Additionskonstante $c = c_J + c_L$ erhält an der Latte der Nullpunkt des Nonius gegenüber dem der Zentimeterteilung eine Verschiebung von $\frac{c}{100}$ cm. Die Abstimmung der Multiplikationskonstante auf den Wert $C = 100$ erfolgt mit Hilfe einer Justierschraube, die den Meßkeil aus seiner Normalstellung zur Zielachse so weit zusätzlich verschwenkt, daß der parallaktische Winkel den geforderten Betrag annimmt.

Bei der Distanzmessung bringt man nach genauester Fokussierung den Nonius möglichst in die Mitte des Gesichtsfeldes und stellt durch Drehung des Plattenmikrometers die Koinzidenz eines Noniusstriches mit einem Strich der Lattenteilung her. Die Noniusablesung ergibt die Meter bzw. Dezimeter der Schrägdistanz, während der Zentimeterrest durch die Ablesung der Mikrometertrommel bestimmt ist.

Wenn sich bei der Überprüfung des Distanzmessers auf Vergleichstrecken Abweichungen von $c = 0$, $C = 100$ herausstellen, so kann die erstere nach Lösung der Halteschrauben des Nonius durch eine vorzeichenrichtige Verschiebung seines Nullpunktes beseitigt werden. Hernach stellt man für eine der größten Vergleichsentfernungen die Mikrometertrommel auf den Sollwert der Zentimeter ein und führt die nun (wegen der festgestellten Abweichung vom Wert $C = 100$) nicht mehr vorhandene Strichkoinzidenz durch die vorhin erwähnte zusätzliche Verschwenkung des Keiles mit seiner hiezu vorgesehenen Justierschraube herbei.

Die mit dem neuen Präzisionsdistanzmesser DM 1 von *Wild* gemessenen Schrägentfernungen weisen eine Genauigkeit von 1 : 5000 und mehr auf.

25,245 Reduktionstachymeter (Redta) von *Boßhardt-Zeiß*[61]

Vor dem Objektiv im Fernrohr eingebaute Drehkeile [18,251] erzeugen bei waagrechter Zielung (siehe Abb. 88 b) die Maximalablenkung γ und damit an der Latte den Abschnitt $\overline{AA_{12}} = L$. Bei der Kippung des Fernrohres wird seine Bewegung auf die beiden Keile gegenläufig übertragen, so daß bei Erreichung des Höhenwinkels β die beiden Keilhauptschnitte den Winkel 2β einschließen.

Hiedurch tritt entsprechend Abb. 88 c automatische Reduktion des Lattenabschnittes L auf $L'' = \overline{AA_{12}''} = L \cos \varphi = L \cos \beta$ ein.

Wegen $D = S \cos \beta = C\,L \cos \beta = C\,L''$ ist somit an der Latte direkt die Horizontalentfernung D ablesbar, wenn in dem Lattenabschnitt eine etwa vorhandene Additionskonstante c des Instrumentes berücksichtigt wurde. Da mit Hilfe eines noch zu erörternden Ab-

schlußkeiles vor den Drehkeilen die Multiplikationskonstante scharf auf C = 100 abstimmbar ist, sind die Distanzmeßlatten mit einer Genauigkeit von etwa ± 0,01 mm in Zentimetereinheiten auf Invar geteilt, wodurch praktische Unabhängigkeit von Temperatureinflüssen eintritt.

Die Additionskonstante beträgt $c = 124$ mm, nämlich $c_J = 88$ mm und $c_L = 36$ mm. Durch sorgfältige Keilauswahl erreicht man $C \doteq 100$, und es wäre daher die Ablesemarke um $c = c_J + c_L = 1{,}24$ mm in die Teilung zu rücken. Die oberhalb des Objektivs in dem Fernrohrkörper eingeschlossene, halbkreisförmige Planplatte ist in der Stellung Null des zugehörigen Mikrometers so gegen die Zielachse geneigt, daß die sie durchsetzenden Strahlen genau um 1 mm parallel verschoben sind. Hiedurch wird der Hauptanteil der Nullpunktverschiebung berücksichtigt, und nur um den verbleibenden Rest von 0,24 mm ist die Ablesemarke in der Richtung der Zentimeterstrichteilung der Latte tatsächlich verschoben.

Zur Bestimmung des Lattenabschnittes dient bei den älteren Formen des R e d t a ein Nonius mit der Angabe 1 mm (Latte) bzw. 1 dm (Distanz) in Verbindung mit dem bereits genannten optischen Mikrometer. Da die Planplatte so dimensioniert ist, daß durch ihre Verschwenkung eine maximale Parallelverschiebung von 2,5 mm eintritt, können stets zwei, manchmal auch drei aufeinanderfolgende Noniusstriche mit entsprechenden Strichen der Lattenteilung zur Koinzidenz gebracht werden. Der in Distanzzentimeter umgewandelte Verschiebungsbetrag ist an der Mikrometertrommel ablesbar und der Noniusablesung einfach zuzufügen. Zum Beispiel: Koinzidierender Noniusstrich = 4 (4 dm), Trommelablesung = 7,2 cm oder Noniusstrich = 3 (3 dm), Trommelablesung = 17,2 cm, gibt beide Male 47,2 cm als Distanzrest.

Drei Koinzidenzen erhält man nur dann, wenn die gemessene Horizontaldistanz knapp bei ganzen Dezimetern liegt, z. B.: Noniusstrich = 4 (4 dm), Trommel = 2 cm oder Noniusstrich = 3 (3 dm), Trommel = 12 cm oder Noniusstrich 2 (2 dm) und Trommel = 22 cm, stets mit dem Distanzrest von 42 cm.

Abb. 150. *(Zeiß.)*

Die letzte Form des R e d t a verwendete Latten mit einer Teilung in 2-cm-Intervalle und einer Noniusangabe von 2 Distanzdezimetern

(Abb. 150). Die größeren Intervalle ermöglichen, insbesondere auf weiten Distanzen, eine raschere Bestimmung des koinzidierenden Noniusstriches, als dies bei den älteren Latten mit Zentimeterteilungsintervallen möglich war.

Die automatische Reduktion ergibt sich immer nur für die vor den Keilen liegende Meßstrecke, und der Abstand der Keile vor der Instrumentachse, nämlich $c_J = 88$ mm, wird nicht mitreduziert. Der Reduktionsbetrag für diesen Abstand c_J ist am Verdeck des Höhenkreises (Abb. 151) für jede Fernrohrneigung ablesbar und immer von der beobachteten Distanz abzuziehen. Da der Keilmittelpunkt 22 mm unter der Fernrohrachse liegt, ist der Reduktionsbetrag für Tiefenwinkel größer als für gleich große Höhenwinkel.

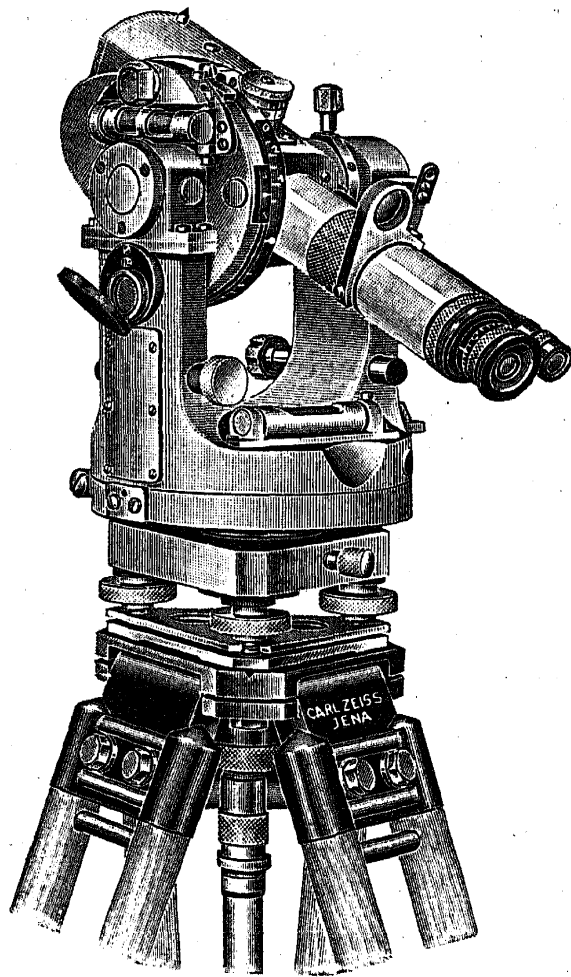



Abb. 151. *(Zeiß.)*

Prüfungen und Berichtigungen.

Wir beschränken uns auf eine schlagwortartige Darstellung unter Verweisung auf bereits in anderem Zusammenhang erörterte Fragen ähnlicher Art.

Latte

Das Standrohr des Lattengestelles ist mit den Schraubhandgriffen der Spreizen fein neigbar und soll bei einspielender Dosenlibelle lotrecht stehen. Berichtigung nach Aufstellung mit Senkel oder Einrichtung aus zwei seitlichen Instrumentenständen.

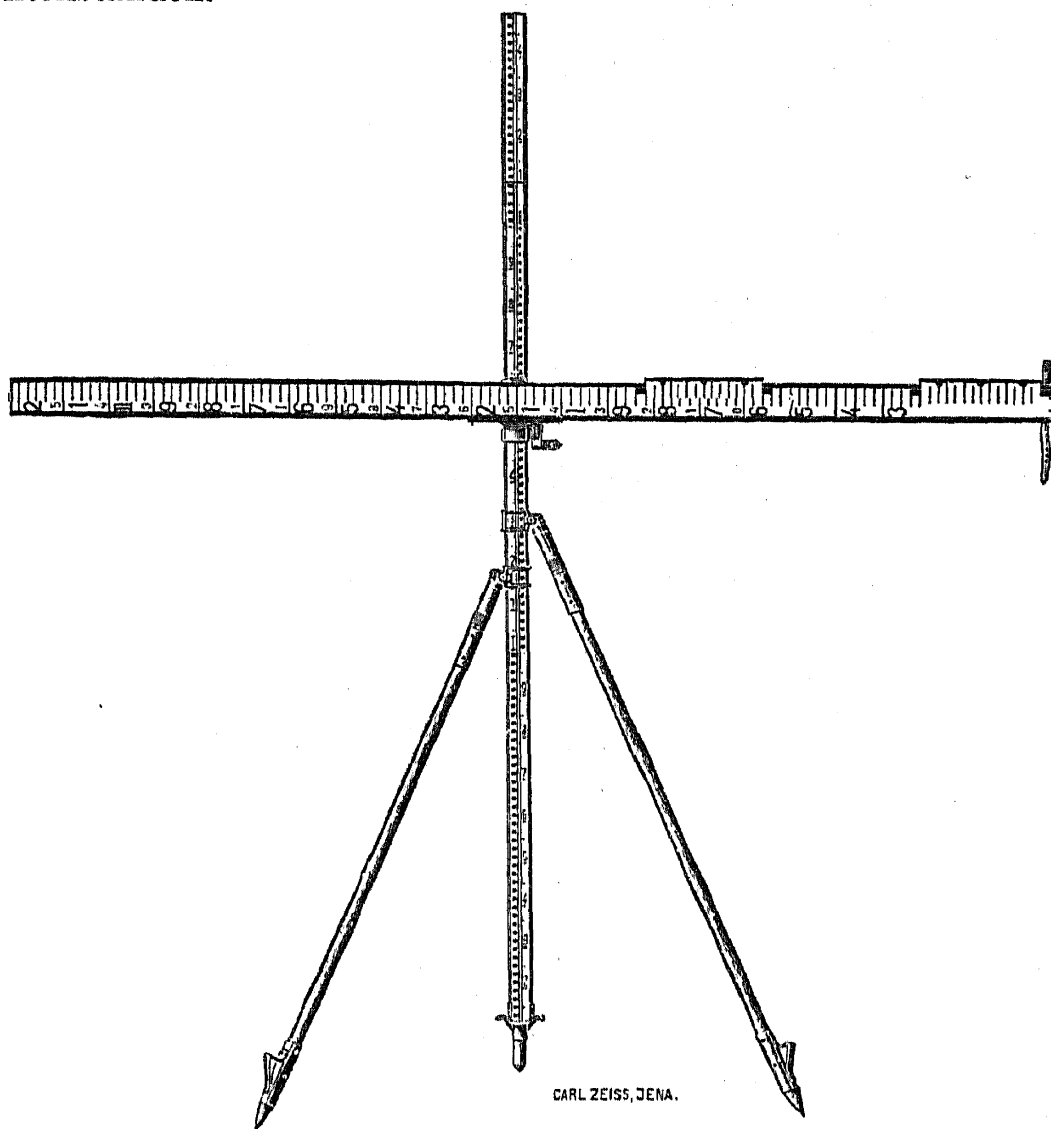



Abb. 152. *(Zeiß.)*

Die Teilung soll waagrecht und normal zur gesuchten Distanz liegen, wenn das Lattendiopter auf das Instrument eingestellt ist. Berichtigung über genau abgestecktem rechtem Winkel, wie in [25] allgemein angegeben. Bei berichtigter und meßbereit aufgestellter Latte sieht der Beobachter vom Instrument aus am Diopter (in Abb. 152 knapp rechts vom Standrohr unter der Latte) einen regelmäßigen rechteckigen Lichtspalt, der bei halbmondartiger Form andeutet, daß die Latte nicht gut normal zur Meßstrecke steht.

Instrument

Nach allgemeiner Berichtigung als Theodolit, sind hinsichtlich der Distanzmessung und der automatischen Reduktion noch die folgenden Prüfungen notwendig.

a) Additionskonstante.

Zur Berücksichtigung einer etwa vorhandenen persönlichen Gleichung [25,241] additiver Art des Beobachters wird eine kurze waagrechte Strecke (8—10 m) mit mehreren Koinzidenzen optisch bestimmt (z. B. 8,634 m) und auch auf Millimeter genau direkt gemessen (z. B. 8,618 m). Zur Beseitigung des Unterschiedes lüftet man, bei scharfer Koinzidenzstellung an der Latte, das Halteschräubchen des Ringes, auf dem sich die Teilung der Mikrometertrommel (in Abb. 151 knapp ober dem rechten Rand des Höhenkreises sichtbar) befindet, verdreht diese Teilung auf die Soll-Ablesung (8,618) und zieht das Schräubchen wieder fest an.

b) Multiplikationskonstante.

Zur Berücksichtigung einer etwa vorhandenen multiplikativen persönlichen Gleichung des Beobachters ist eine längere, genauest mit geprüftem Stahlband ermittelte, waagrechte Strecke sorgfältig und mehrmals optisch zu messen (z. B. 101,384 m). Hat die direkte Stahlbandmessung z. B. 101,352 m ergeben, so wird die aus dem Unterschied von 32 mm erkennbare persönliche Multiplikationskonstante auf dem folgenden Weg ausgeschaltet.

Der vor den Drehkeilen befindliche, sehr flach geschliffene Abschlußkeil ist mit seiner Fassung verdrehbar und bewirkt dadurch eine sehr geringe zusätzliche Änderung des parallaktischen Winkels und damit der Multiplikationskonstante C.

Nach Lüftung des Halteschräubchens am Fassungsring verdreht man ihn von der vorhandenen Ablesung A der Merkteilung etwa $+ 10$ Intervalle, mißt in dieser Stellung neuerlich sehr genau optisch die Entfernung und erhält z. B. 101,443 m, also um 59 mm mehr als bei der ersten Beobachtung. Die Verdrehung um $+ 1$ Intervall erzeugt daher eine Distanzvergrößerung von 5,9 mm. Dem zu beseitigenden Unterschied von 32 mm entspricht somit eine notwendige Verdrehung von $32 : 5{,}9 \doteq 5{,}4$ Teilen. Man stellt nun die Ablesung $A - 5{,}4$ Intervalle an der Merkteilung ein und wiederholt die optische Beobachtung. Ergibt sich jetzt (innerhalb der Meßgenauigkeit) der Soll-Wert, nämlich 101,352, so ist das Halteschräubchen der Fassung des Abschlußkeiles wieder fest anzuziehen.

Man kann diese Möglichkeit auch benützen, um die einer mittleren Meereshöhe H_m des Arbeitsgebietes entsprechende Seehöhenreduktion [II 8] zu berücksichtigen, d. h. direkt die auf den Meereshorizont bezogenen Entfernungen zu messen.

c) Selbsttätige Horizontreduktion.

Die automatische Reduktion der Schrägdistanz S in die Horizontalentfernung $D = S \cos \beta$ tritt nur dann ein, wenn bei einspielender Versicherungslibelle und waagrechter Zielung die Keilhauptschnitte beider Drehkeile genau waagrecht liegen.

Die Prüfung erfolgt durch optische Doppelmessung einer sehr steilen Meßstrecke, jedesmal bei genau spielender Versicherungslibelle des Höhenkreises.

Zum Beispiel Messung h i n a u f: Ablesung $L_1 = 67{,}93$ m, Verbesserung vom Höhenkreisverdeck: -1 cm (wegen der früher erwähnten Reduktion für $c_J = 88$ mm), Ergebnis: $D_1 = 67{,}92$ m. Messung h i n u n t e r: Ablesung $L_2 = 67{,}85$ m, Verbesserung: -3 cm, Ergebnis: $D_2 = 67{,}82$ m.

Der Mittelwert 67,87 m entspricht der richtigen Distanz D, und die optische Beobachtung im letzten, oberen Standpunkt sollte daher (im Hinblick auf die Verbesserung von -3 cm) ergeben: $L_2 = 67{,}90$ m.

Berichtigung: Man stellt die Trommel des Mikrometers, die von der letzten Ablesung ($L_2 = 67{,}85$ m) her noch auf 5 cm zeigt, auf 0 cm ein, wodurch die bei L_2 vorhandene Koinzidenz mit 67,8 m verlorengeht. Bei genau einspielender Versicherungslibelle werden nun die beiden Richtschräubchen am Oberrand des Höhenkreisverdecks gedreht, bis die Ablesung 67,9 durch Koinzidenz eintritt. In dieser Schlußstellung müssen beide Richtschräubchen gut angezogen sein, denn sie fassen nun zwischen sich jenen Arm des am Höhenkreisumfang befindlichen Zahnkranzes, der die Höhenbewegung des Fernrohres durch eine Übersetzung auf die beiden Drehkeile überträgt. Die Hauptschnitte der beiden Keile sind durch die geschilderte Berichtigung so eingestellt worden, daß sie bei waagrechter Zielung und einspielender Versicherungslibelle die geforderte waagrechte Lage einnehmen.

Die Wiederholung der Prüfung müßte nun ergeben:

Messung hinunter: Ablesung $L_2 = 67{,}90$, Verbesserung: -3 cm, $D_2 = 67{,}87$ m.

Messung hinauf: Ablesung $L_1 = 67{,}88$, Verbesserung: -1 cm, $D_1 = 67{,}87$ m.

Messungsvorgang[62].

Latte

Lotrechte Aufstellung des Standrohres. Verschiebung des Lattenhalters tunlichst in Kopfhöhe und Einlegung der Latte ungefähr symmetrisch zum Standrohr, so daß der innere (rot bezifferte) Lattennonius vom Standrohr etwa 2 dm absteht. Anzielung des Instrumentes mit dem Diopter, Klemmung des Lattenhalters.

Instrument

Meßgerechte Aufstellung. Drehung der Schaltvorrichtung vor dem Okular auf Einfachbild. Beobachtung der Horizontalrichtungen. Für Höhenunterschiedsbestimmung: Instrumentenhöhe J messen, an der Standrohrteilung $Z = J$ einstellen, bei einspielender Versicherungslibelle neben bzw. unter der Höhenkreisteilung den Wert ct z bzw. tg z ablesen oder Zenitdistanz z (u. U. in beiden Fernrohrlagen)

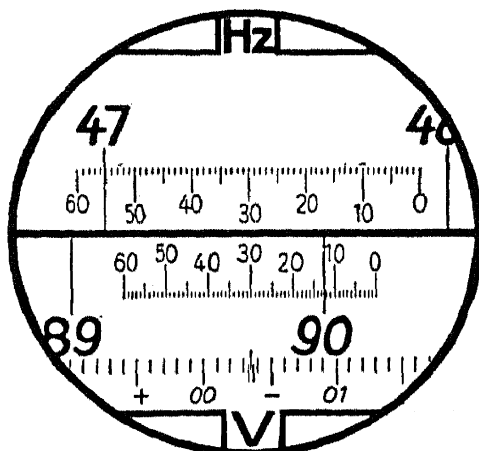



Abb. 153.

messen [21,2]. Die Abb. 153 zeigt das Gesichtsfeld des Ablesemikroskops der neuen Form des Redta mit der Horizontalkreislesung 47° 55,2′, der Vertikalkreislesung 90° 12,3′ und darunterliegenden Tangententeilung mit der Ablesung tg $z = -0{,}0036$.

Distanzmessung

Sehr scharfe parallaxenfreie Einstellung des Lattenbildes. Prüfung, ob das Diopter, als Zeichen richtiger Lattenlage, rechteckig aufleuchtet. Doppelbild einschalten und Fernrohr fein kippen, bis Bildtrennungslinie zwischen Strichteilung und Nonius liegt. Einspielung der Versicherungslibelle. Ablesung des durch rote Punkte bezeichneten Nonius bei Entfernungen bis etwa 80 m bzw. des schwarzen (äußeren) Nonius bei darüberliegenden Entfernungen nach Herbeiführung der Koinzidenz mit dem Plattenmikrometer. Je nach Größe der Entfernung 4- bis mehrmalige Wiederholung der Beobachtung bei Gegendruck der Mikrometerfeder. Mittelbildung und Abziehen der am Höhenkreisverdeck ablesbaren Reduktionsverbesserung.

Die in dieser Art gemessenen Horizontaldistanzen weisen im Durchschnitt eine Genauigkeit von 1 : 5000 bis 1 : 10 000 auf.

Wie es bereits erwähnt wurde, sind zu den letzten Formen des Redta Latten mit Doppelzentimeterteilung hergestellt worden, die insbesondere die Messung von größeren Entfernungen sehr erleichtern, wie auch Handlatten, zur Einmessung von Gebäudeecken[63].

Nach dem gleichen Prinzip der automatischen Reduktion mit einem Drehkeilpaar wird von der *Kern & Co. A. G.* ein auf ihre DK-Theodolite [18,252], [20] aufsteckbarer Reduktionsmeßkeil DR gebaut. Die zur mechanischen Horizontreduktion notwendige Verschwenkung des Drehkeilpaares ist vom Beobachter durchzuführen, u. zw. durch Einspielung einer an der Außenwand des Distanzmeßkörpers befindlichen Libelle. Außerdem erzeugt die *Kern & Co. A. G.* das Reduktions-Tachymeter DKRT mit im Fernrohr abgeschlossenen automatisch reduzierenden Drehkeilmikrometer und einer ganz neuartigen absoluten Bildtrennung.

Auch die Verkaufsaktiengesellschaft *H. Wilds* geodätische Instrumente hat neben ihren vorhin erwähnten Keildistanzmessern einen Reduktionsdistanzmesser nach dem *Boßhardt*-Prinzip entwickelt, der, mit der Benennung RDH, als Reduktions-Distanz- und Höhenmesser bezeichnet werden kann. So wie nämlich das Drehkeilpaar in der Grundstellung (entsprechend Abb. 88) die automatische Reduktion proportional cos β ausführt, leistet es in der um 90° verdrehten Lage die Reduktion proportional sin β. Nach Umschaltung in diese Lage, ist daher die unmittelbare Ablesung des Höhen-

unterschiedes zwischen der Bildtrennungslinie an der Latte und der Kippachse des Instrumentes möglich[63a].

So wie bei dem Redta *Boßhardt-Zeiß* ist mit den entsprechenden Instrumenten der anderen Erzeuger eine Genauigkeit von etwa ± 2 cm auf 100 m automatisch reduzierte Horizontaldistanz sicher erreichbar, wenn die Beobachtungen unter guten Verhältnissen und bei Luftruhe stattfinden[64].

25,246 Zusätzliche Bemerkungen

In der vorausgehenden Darstellung der Keildistanzmesser sind zahlreiche Einzelheiten, zur Vermeidung der damit verbundenen Weitläufigkeit, nur kurz erwähnt oder überhaupt unterdrückt worden. Für eine auf alle Feinheiten[64a] Bedacht nehmende Einarbeitung müssen daher die einschlägigen Gebrauchsanweisungen und Veröffentlichungen zu Rate gezogen werden.

Im allgemeinen ist festzustellen, daß erst ein mit dem betreffenden Gerät voll vertrauter Beobachter imstande sein wird, die mögliche hohe Genauigkeit der Distanzmessung zu erreichen.

Anfänger werden sehr oft durch Unstimmigkeiten enttäuscht, die einerseits nur eine Folge mangelnder Übung sind, andererseits aber mit der oft merkbaren und mehrmals erwähnten verschiedenartigen Auffassung der Teilungskoinzidenz ein geradezu typisches Beispiel für den einseitig wirkenden Einfluß einer persönlichen Gleichung darstellen[65].

Immer soll die Einübung bei kürzeren Distanzen beginnen, unter ganz besonderer Bedachtnahme auf sorgfältigste Herbeiführung einwandfrei scharfer Bilder.

Für Entfernungen ab 150 m ist eine Unterteilung der Strecke zu empfehlen, mit eingefluchteter Lattenaufstellung in der Mitte oder auch zwei Lattenständen, die von beiden Enden her zu beobachten sind. Aus den beiden Summen der Teilstücke und dem u. U. direkt gemessenen Abstand (etwa bis 2 m) der Zwischenpunkte ergibt sich eine wertvolle Prüfung der erzielten Genauigkeit.

Bei der Polaraufnahme von einspringenden Gebäudeecken ist die Latte hinreichend weit vor die Ecke zu stellen und der Restabstand direkt zu messen.

Im Falle sehr steiler Strecken kann man u. U. bei einer am Standrohr höher und tiefer befestigten Lattenlage beobachten und die Ergebnisse mitteln.

Da an sonnenbeschienenen Wänden beträchtlich störende Seitenfraktion[66] eintritt, sollen Lattenstandpunkte möglichst nicht zu nahe bei solchen Flächen angenommen werden.

Literaturhinweise zu Abschnitt F [23]—[25]

1 *Hartner-Doležal*, N. G. I 2, S. 688.
2 *Jordan-Eggert*, V. K. III 1, S. 93.
3a a. a. O. 2, S. 146.
3b *Gigas, E.*, Handbuch für die Verwendung von Invardrähten bei Grundlinienmessungen, Berlin 1934, Reichsamt f. Landesaufnahme, S. 89; *Hunger, K.*, Die Lichtinterferenzen als Hilfsmittel bei geodätischen Längenmessungen, Z. f. V., 1936, Heft 14.
4 a. a. O. 2, S. 106.
5 a. a. O. 3 b, S. 50.
6 a. a. O. 2, S. 130; a. a. O. 3 b, S. 15, 114.
7 a. a. O. 3 b, S. 143.
8 a. a. O. 1, S. 699.
9a *Krauland, R.*, Legales und internationales Meter in Österreich und deren Beziehung zu den älteren Maßeinheiten, in: Öst. Z. f. V., 1949, Heft 1—3.
9b a. a. O. 2, S. 81.
10 *Jordan-Eggert*, V. K. II 1, S. 62.
10a *Gruber, O. v.*, Optische Streckenmessung und Polygonierung mit besonderer Berücksichtigung von Zeiß-Instrumenten, Berlin 1942, Wichmann (mit Beiträgen von *Schneider, W.*, *Schwidefsky, K.* und *Förster, G.* über die Grundlagen der optischen Streckenmessung, den Gebrauch der Instrumente, die Fehlereinflüsse bei der Streckenmessung und die Genauigkeit der Streckenzüge) mit ausführlichem Literaturverzeichnis.
11 *König, A.*, Die Fernrohre und Entfernungsmesser, 2. Aufl., Berlin 1937, Springer, S. 178.
12 a. a. O. 1, S. 184.
13 a. a. O. 10, S. 169.
13a a. a. O. 10 a, S. 29, 104.
13b *Berroth, A.*, Geodätische Entfernungsmessungen mit dem Berroth-Fennelschen Keilmikrometer, Z. f. V., 1936, Heft 6; ders., Parallaktische Entfernungsmessung auf große Distanz, A. V. N., 1936, Heft 36.
14a *Bachmann, E.*, Die indirekte Distanzmessung mit Radar, in: Schweiz. Z. f. V., 1948, Heft 4.
14b *Wade*, Sur des essais de signaux élevés au Magnésium (Über Versuche mit hohen Magnesium-Signalen), in: Bulletin géodésique, Union Géodésique et Géophysique Internationale (U. G. G. I.), Paris 1925, Nr. 7; ders., Au sujet de la jonction des triangulations de l'Egypte et du Continent Européen (Zur Verbindung der ägyptischen Triangulation mit dem europäischen Kontinent), in: Bulletin géodésique (U. G. G. I.), Paris 1925, Nr. 7; *Athanassiadis*, Über die Möglichkeit geodätischer Messungen betreffend die Verbindung der Insel Kreta mit Afrika, in: Travaux de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale, Paris 1928, Tome V/1; *Lampadarios*, La liaison aérophotogrammetrique de l'île de Crête avec l'Afrique (Die aerophotogrammetrische Verbindung von Kreta mit Afrika), in: Bulletin géodésique (U. G. G. I.), Paris 1930, Nr. 27; *Chrysanthis*, Die geodätische Verbindung Kretas mit Afrika zum Zwecke der Messung eines Meridianbogens, in: Jahrbuch des griechischen Mil. Geogr. Inst., Athen 1937, Heft 11; *Berroth, A.*, Eine praktische Möglichkeit der Triangulationsverbindung mit dem amerikanischen Kontinent, in: Schweiz. Z. f. V., 1933; *Hinterkeuser*, Über eine Punktpaarbestimmung nach beweglichen Hochzielen und ihre Verwendung zum Aufbau einer weiträumigen Triangulation, Sonderheft 20, Mitt. R. f. L., Berlin 1941.
14c *Boagd, G.*, Le applicazioni geodetiche del Radar (Die geodätischen Anwendungen des Radar), in: Annali di Geofisica, Roma 1949, Vol. II.; *Hart*, Some aspects of the influence on geodesy of accurate range measurement by Radio

methods, with special reference to Radar techniques (Einige Ausblicke auf die geodätische Bedeutung genauerer Entfernungsmessung durch Radio-Verfahren, insbesondere durch Radar-Technik), in: Bulletin géodésique (U. G. G. I.), Paris 1948, Nr. 10.
14d *Rieck, H.*, Einführung in die Flugtechnik, Wien 1949, Bohmann, S. 219.
14e a. a. O. 21, S. 227.
15a *Hartner-Doležal,* N. G. I 1, S. 290.
15b *Jordan-Eggert,* V. K. II 2, S. 54.
16 a. a. O. 15 a, S. 301; a. a. O. 15 b, S. 69.
17 Instruktion für trigonometrische und polygonometrische Vermessungen. Herausgegeben vom k. k. Finanzministerium, Wien 1904, S. 194.
18 a. a. O. 15 b, S. 279, 173.
19 *Boßhardt,* Optische Distanzmessung und Polarkoordinatenmethode, Stuttgart 1930, Wittwer, S. 71; a. a. O. 10 a, S. 31.
19a *Franssila, M.*, Mikroklimatische Temperaturmessung in Mitt. d. Met. Zentralanstalt, Helsinki 1945, Nr. 26.
20a a. a. O. 11, S. 163.
20b a. a. O. 10, S. 335; a. a. O. 10 a, S. 11.
20c a. a. O. 15 a, S. 345.
21 *Näbauer,* V. K., S. 113; *Dock,* Aufnahmearbeiten, S. 62; a. a. O. 10 a, S. 14.
21a *Vogg, A.*, Der Distanzmesser Alt, Z. f. V., 1941, Heft 3.
22 *Hartner-Doležal,* N. G. II, S. 376.
23 a. a. O. 15 b, S. 301.
24 a. a. O. 22, S. 138; a. a. O. 15 b, S. 294.
25 a. a. O. 22, S. 385; a. a. O. 15 b, S. 291, 300; a. a. O. 11, S. 159.
26 a. a. O. 15 a, S. 328; a. a. O. 15 b, S. 256; a. a. O. 21, S. 113.
27 a. a. O. 10 a, S. 35; a. a. O. 19, S. 65.
28 a. a. O. 10, S. 284; a. a. O. 15 b, S. 249.
29 a. a. O. 21, S. 114.
30 a. a. O. 15 a, S. 335; a. a. O. 15 b, S. 252.
31a a. a. O. 15 b, S. 252.
31b *Roelofs,* Fadendistanzmesser mit Innenfokussierung, Z. f. I., 1941, Heft 5 (mit Literaturverzeichnis); *Tichy, A.*, Beitrag zur Theorie des anallaktischen Punktes in distanzmessenden Fernrohren mit beweglicher Einstellinse, Z. f. V., 1944, Heft 6.
32 a. a. O. 15 a, S. 328; a. a. O. 15 b, S. 247.
33 a. a. O. 15 a, S. 332, 344; a. a. O. 15 b, S. 297.
34 a. a. O. 21, S. 117.
35 Druckschrift Th 94 der A. G. Wild, Heerbrugg.
36 a. a. O. 22, S. 392; a. a. O. 15 b, S. 268.
37a *Jordan,* Hilfstafeln für Tachymetrie, Stuttgart, Metzler (7. Aufl., 1921).
37b *Reger,* Tachymetertafeln als Ergänzungen der *Jordan*schen Hilfstafeln für Tachymetrie, Stuttgart 1910, Metzler.
37c *Rohrer,* Tachymetrische Hilfstafeln für sexagesimale Kreisteilung, Wien 1948, Österr. Verein f. Vermessungswesen.
38 a. a. O. 15 b, S. 275; a. a. O. 21, S. 116.
39 a. a. O. 15 a, S. 348; a. a. O. 15 b, S. 267.
40 a. a. O. 15 b, S. 279.
41 a. a. O. 22, S. 376; a. a. O. 15 b, S. 275.
42 a. a. O. 19, S. 15.
43 a. a. O. 15 b, S. 254.
44 a. a. O. 15 a, S. 344; a. a. O. 15 b, S. 298.
45 a. a. O. 15 a, S. 414; a. a. O.1, S. 895.
46 a. a. O. 15 a, S. 356; a. a. O. 22, S. 355.
47 a. a. O. 22, S. 365; a. a. O. 15 b, S. 298.

48 a. a. O. 22, S. 366; a. a. O. 15 b, S. 299; a. a. O. 11, S. 159.
49 a. a. O. 22, S. 379; a. a. O. 15 b, S. 306; a. a. O. 11, S. 162; a. a. O. 21, S. 243.
50 a. a. O. 15 b, S. 310.
51 *Höllhuber, G.*, Das neue Reduktionstachymeter Dahlta-Zeiß und seine Anwendung, A. V. N., 1942, Heft 11/12; *Werkmeister, P.*, Reduktionstachymeter Dahlta, Z. f. I., 1942, Heft 5; *Idler, R.*, Das Reduktionstachymeter Dahlta, Z. f. V., 1944, Heft 3; Druckschrift Geo 42-050-1 von C. Zeiß, Jena; a. a. O. 10 a, S. 26, 103.
52 Druckschrift DK 491 von Kern & Co. A. G., Aarau.
53 a. a. O. 10, S. 335; a. a. O. 10 a, S. 4, 10, 31; a. a. O. 21, S. 244; a. a. O. 19, S. 21.
53a a. a. O. 10 a, S. 18, 101.
54 *Baeschlin, C. F.*, Kurze Darstellung der Prismenoptik als Grundlage des Verständnisses für moderne Distanzmesser, in: Referatsammlung: „Die optische Distanzmessung und ihre Anwendung bei der schweiz. Grundbuchvermessung", Winterthur 1925, Buchdruckerei Winterthur, S. 49.
54a a. a. O. 10 a, S. 35.
55 a. a. O. 19, S. 52.
56 a. a. O. 20 b, S. 336.
57 a. a. O. 19, S. 36; a. a. O. 20 b, S. 339.
58 a. a. O. 19, S. 34; a. a. O. 20 b, S. 336.
59 a. a. O. 19, S. 31, a. a. O. 20 b, S. 339.
59a *Bertschmann*, Die neuen optischen Distanzmesser, in: Referatsammlung „Die optische Distanzmessung und ihre Anwendung bei der schweiz. Grundbuchvermessung" (a. a. O. 54), S. 35.
60 Druckschrift Th 98 Wild A. G., Heerbrugg.
61 a. a. O. 10, S. 165; a. a. O. 10 a, S. 22, 102; a. a. O. 19, S. 22; a. a. O. 20 b, S. 343; a. a. O. 21, S. 244; a. a. O. 59 a, S. 39.
62 a. a. O. 10 a, S. 24; a. a. O. 19, S. 73.
63 a. a. O. 19, S. 105.
63a *Berchtold, E.*, Die optischen Mittel zur Berichtigung des *Wild*schen Reduktions-Distanzmessers RDH, in: Schweiz. Z. f. V. 1950, S. 117.
64 a. a. O. 19, S. 75.
64a a. a. O. 10 a; *Ulbrich, K.*, Der Temperatureinfluß beim Boßhardt-Zeiß-Reduktionstachymeter, Z. f. V., 1939, Heft 12.
65 a. a. O. 19, S. 65.
66 a. a. O. 19, S. 71; *Sokob, E.*, Seitenrefraktion im Temperaturfeld von sonnenbestrahlten Wänden, Z. f. V., 1936, Heft 21/22.

ABSCHNITT G

Höhenunterschiedsbestimmung

Der in den vorausgehenden Abschnitten gelegentlich erkennbar gewordene Zusammenhang der Grundriß- oder Lagevermessung mit der Höhenunterschiedsbestimmung bezog sich wesentlich auf den behindernden bzw. auch den fehlererzeugenden Einfluß vorhandener Höhenunterschiede bei der Durchführung der Horizontalvermessung.

Für die bisherigen Erwägungen war also die Bestimmung von Höhenunterschieden bzw. der durch sie bewirkten Zielstrahlneigungen

und Gefälle nur Mittel zur Ableitung des Grundrisses der physischen Erdoberfläche, aus den in der Natur beobachtbaren schrägen Punktverbindungen.

In diesem Abschnitt wird die Ermittlung der Höhenunterschiede als Endzweck betrachtet.

Trotzdem der Bereich irdischer Höhen wesentlich eingeschränkter und kleiner ist, im Vergleich zur Weite des Grundrisses, bedingen vor allem die wechselnden Genauigkeitsanforderungen die nachfolgend zur Erörterung kommende Vielzahl von möglichen Meßverfahren, nämlich: das Nivellement, die trigonometrische und tachymetrische Höhenunterschiedsbestimmung sowie die barometrische Höhenmessung.

Nebenbei ist noch die akustische Höhenermittlung mit Hilfe des Echolotes[1] und das für die Zukunft der Luftbildmessung besonders bedeutungsvolle funktechnische Verfahren mit elektrischen Höhenmeßgeräten[2] [23] zu erwähnen. Diese Methoden bestimmen die Höhenunterschiede aus der Laufzeit, die zwischen der Abgabe eines akustischen bzw. Funkimpulses bis zur Ankunft des betreffenden Echos verstreicht.

Vor Behandlung der einzelnen genannten Verfahren müssen wir indessen noch auf einige Umstände hinweisen, die, aus geophysikalischen Ursachen, zu verschiedenen Auffassungen und Definitionen des Begriffes der Höhe und des Höhenunterschiedes führen.

In einer bestimmten Niveaufläche W liegt die Gesamtheit aller jener Punkte, die, von der Unendlichkeit her, mit der gleichen Arbeitsleistung $W = C$ erreicht werden. Bezeichnet man die in einem Punkt P der Niveaufläche nach außen gerichtete Normale mit h, dann ergibt sich die in P auf die Masseneinheit wirkende Schwerkraft g aus der Beziehung[3]

$$g = -\left(\frac{\partial W}{\partial h}\right)_P.$$

Den Arbeitswert $W = W_0$ des Geoides [1], d. h. der im Meeresspiegel verlaufenden Niveaufläche, zerlegen wir in der Form $W = W_0 = U + T$, wo T als sog. Restfunktion von *Bruns* einzig und allein von den Massenunregelmäßigkeiten der Erde abhängt. Mit der Gleichung $W = W_0 = U$ ist das Niveausphäroid [1] von *Bruns* bestimmt, das als Bezugsfläche für die Zählung der Hebungen und Senkungen (Undulationen) ζ des Geoides $W = W_0$ dient[4].

Diese erhält man nach dem Theorem von *Bruns* aus der Beziehung

$$\zeta = -\frac{T}{\gamma},$$

somit wesentlich als Folge der Massenunregelmäßigkeiten der Erde, da T die oben genannte Restfunktion darstellt und

$$\gamma = -\left(\frac{\partial U}{\partial h}\right)_Q$$

den verhältnismäßig nur wenig veränderlichen Betrag der sog. theoretischen Schwerkraftbeschleunigung in jenem Punkt Q des Niveausphäroides $U = W_0$ angibt, der auf der Lotlinie durch den Punkt P des Geoides liegt.

Eben diese Veränderlichkeit der Schwerkraftbeschleunigung γ, am Niveausphäroid bzw. der von ihr um den Betrag der scheinbaren Schwerkraftstörung $g - \gamma$ abweichenden Schwerkraftbeschleunigung g im zugeordneten Punkt P des Geoides, ist indessen der Grund für die Tatsache, daß benachbarte Niveauflächen, nämlich etwa jene vom Arbeitswert $W = W_0$ bzw. $W = W_0 + dW$, keine Parallelflächen sind.

Ihr Abstand ist vielmehr durch den Fundamentalsatz bestimmt, daß beim Übergang von der einen zur anderen Niveaufläche an jedem Ort stets die gleiche Arbeit $d\,W \doteq -g\,dh$ geleistet werden muß.

Beachtet man nun, daß die theoretische Schwerkraftbeschleunigung γ und daher auch sehr nahe die Schwerkraftbeschleunigung g als Funktion der geographischen Breite φ durch die Beziehung[5]

$$g = 978{,}049\ (1 + 0{,}005\,2884\ \sin^2 \varphi - 0{,}000\,0059\ \sin^2 2\,\varphi)\ \mathrm{cmsec}^{-2}$$

darstellbar ist, so ergeben sich z. B. für den Äquator ($\varphi = 0^0$) bzw. die Pole ($\varphi = 90^0$) die Schwerkraftbeschleunigungen $g_A \doteq 978{,}05\ \mathrm{cmsec}^{-2}$ bzw. $g_P \doteq g_A\ (1{,}005\,288) \doteq 983{,}22\ \mathrm{cmsec}^{-2}$.

Wählen wir zwei Niveauflächen mit dem Abstand $dh = H_P$ an den Polen und suchen ihren Abstand H_A am Äquator, so führt die Bedingung $d\,W = -g\,dh$ zur Beziehung $d\,W = -g_A\,H_A = -\,g_P\,H_P$, und für die oben genannten Werte entsteht

$$H_A = \frac{g_P}{g_A}\,H_P \doteq 1{,}0053\ H_P.$$

Mit diesen Ergebnissen haben wir die Unterlagen für die Gegenüberstellung von zwei verschiedenen Begriffen gewonnen, nämlich der Seehöhe, mit wesentlich geometrischer Bedeutung, und der dynamischen oder Arbeitshöhe, bei wesentlich physikalischer Auffassung[6].

Als Seehöhe oder orthometrische Meereshöhe eines Punktes bezeichnet man seinen in der Lotlinie gemessenen Abstand vom Meeresspiegel, d. h. von der in der Seehöhe Null liegenden Niveaufläche, dem Geoid. Da die an sich schwierige und auch langwierige Bestimmung des mittleren Meeresspiegels außerdem eine Unsicherheit von bis zu mehreren Dezimetern aufweist, wählt man aus praktischen Gründen die durch einen sogenannten Normalnullpunkt N. N. (in Österreich: Nullpunkt des Gezeitenpegels der Adria am Molo Sartorio in Triest) gehende Niveaufläche als Bezugsfläche für die Angabe der Seehöhen.

Wie wir oben gesehen haben, sind benachbarte Niveauflächen keine Parallelflächen, und deshalb besitzt nur das Geoid stets die Seehöhe Null, während auf jeder anderen Niveaufläche die Seehöhe ihrer Punkte nicht konstant ist, sondern eine Funktion des Punktortes darstellt. Punkte mit gleicher, aber von Null verschiedener Seehöhe liegen also nicht auf einer Niveaufläche, sondern auf einer sogenannten äquiorthometrischen Fläche[7].

Ein vom Pol P'' zum Äquator A'' (Abb. 154) durchaus am Geoid verlaufendes Nivellement [26] kann keine Höhenunterschiede ergeben und wird daher immer die Seehöhe Null anzeigen. Beginnen wir indessen ein Nivellement am Pol im Punkt P mit der Seehöhe H_P und führen es wieder durchaus in der durch P gehenden Niveaufläche bis zum Punkt A am Äquator, so entstehen auch hier keine Höhenunterschiede. Dem Endpunkt A am Äquator würden wir deshalb die Seehöhe H_P zuschreiben, obwohl dort, nach den vorigen Angaben, die beiden Niveauflächen um den Betrag $H_A = 1{,}0053\ H_P$ abstehen, den man auch tatsächlich erhält, wenn der Höhenunterschied H_A zwischen den beiden Punkten A'' und A direkt, z. B. wieder durch ein in der Lotlinie $A''A$ aufwärtsführendes

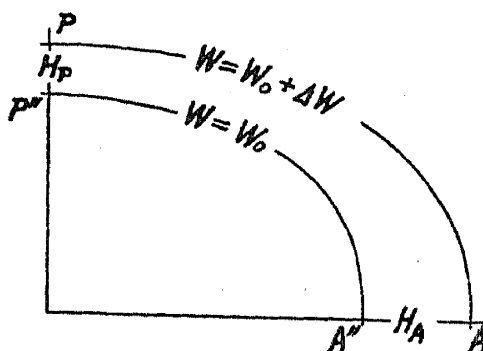



Abb. 154.

Nivellement, bestimmt wird. Es muß daher jedes geschlossene und über größere geographische Breitenunterschiede führende geometrische Nivellement einen Schlußfehler aufweisen, dessen Vorzeichen von der Durchlaufungsrichtung des Nivellementweges abhängt und sich für die entgegengesetzte Richtung umkehrt.

Die Größe des Widerspruches kann man entweder aus dem so wie oben angenommenen theoretischen Verlauf der Schwerkraftbeschleunigung berechnen [26,3] und erhält damit den sog. theoretischen (sphäroidischen) Schlußfehler D'. Durch Verwendung von wahren, d. h. tatsächlich gemessenen Werten der Schwerkraftbeschleunigung ergibt sich der sog. wahre Schlußfehler D, der zufolge der erwähnten, von Massenunregelmäßigkeiten bewirkten Schwerkraftstörungen vom theoretischen Schlußfehler D' mehr oder minder abweichen wird.

Der mit dem Begriff Seehöhe verbundene Nachteil, daß Punkte gleicher, aber von Null verschiedener Seehöhe nicht auf einer Niveaufläche liegen, wird durch die Definition der dynamischen oder Arbeitshöhe vermieden, denn Punkte mit der gleichen und auf das Geoid $W = W_0$ bezogenen dynamischen Höhe

$$\Delta_{A''}^{A} = \Delta_{P''}^{P} = -\frac{\Delta W}{\gamma_0^{45}}$$

liegen stets auf derselben Niveaufläche $W = W_0 + \Delta W$.

Hier ist ΔW der Unterschied der Arbeitswerte am Geoid und in dem der Höhe nach festzulegenden Punkt, während γ_0^{45} dem konstanten Wert der theoretischen Schwerkraftbeschleunigung γ im Meeresniveau für die geographische Breite $\varphi = 45^\circ$ darstellt[8].

Wir werden in [26,3] sehen, daß sich aus den durch Nivellement ermittelten Höhenunterschieden, durch Anbringung entsprechender Korrektionen, Seehöhen bzw. dynamische Höhen berechnen lassen.

Das Verfahren der trigonometrischen Höhenmessung [27] liefert orthometrische Höhen und Höhenunterschiede. Vergleicht man das Ergebnis der trigonometrischen Höhenbestimmung zwischen zwei Punkten mit jenem des geometrischen, d. h. orthometrischen Nivellements, so sind die auf das Referenzellipsoid [1] bezogenen Undulationen des Geoides feststellbar[9].

Um eine Überschreitung des gegebenen Rahmens zu vermeiden, müssen wir es uns versagen, neben diesen Hinweisen auf die grundlegend verschiedene Definition des Höhenbegriffes auf weitere Einzelheiten einzugehen, die im Bedarfsfall der angegebenen Literatur zu entnehmen sind.

26 Nivellement

Das Nivellement ist das genaueste Verfahren zur Bestimmung von Höhenunterschieden mit Hilfe von Nivellierinstrumenten, die so berichtigt sind, daß bei einspielender Nivellierlibelle die Fernrohrzielung waagrecht liegt.

Für eine grob überschlägige Feststellung von Höhenunterschieden können auch jene in zahlreichen Formen konstruierten Apparate verwendet werden, die man als Freihandhöhenmesser, Pendelnivelliergeräte, Trassierinstrumente usw. bezeichnet [26,4].

26,1 Grundlagen, Nivellierarten und -verfahren

Bestimmt man, jedesmal bei einspielender Libelle, an zwei lotrecht gehaltenen Nivellierlatten die Vorwärtslesung V bzw. die Rückwärtslesung R (Abb. 155 a), so gibt der Unterschied $R - V = h$ den Höhenunterschied h der Lattennullpunkte und, wenn diese mit den Aufsetzflächen der Latten zusammenfallen, zugleich den Höhenunterschied der Aufsetzpunkte, wenn man wegen der gegebenen Kürze der Zielweite z vom Einfluß der Erdkrümmung und der Strahlenbrechung absieht[10].

Auch mit einem nicht berichtigten Nivellierinstrument (d. h. wenn bei einspielender Libelle die Zielung nicht waagrecht ist, sondern unter einer geringen Neigung verläuft) kann richtig nivelliert werden[11].

Stellt man nämlich das Instrument von beiden Latten gleich weit entfernt auf (Nivellement aus der Mitte, mit der Ziel-

weite z), wobei es nicht notwendig ist, daß das Instrument in der Verbindungslinie der beiden Latten steht, dann ergibt sich an den beiden Latten der gleiche Fehlbetrag (Abb. 155 b). Der Unterschied der an sich um v fehlerhaften Ablesungen $R' = R + v$, $V' = V + v$, nämlich $R' - V' = R - V = h$, ergibt den stets richtigen Höhenunterschied h.

Für gewöhnliche Zwecke (technisches Nivellement) genügt es zumeist, die Gleichheit der Zielweiten durch Abschreiten (1—2

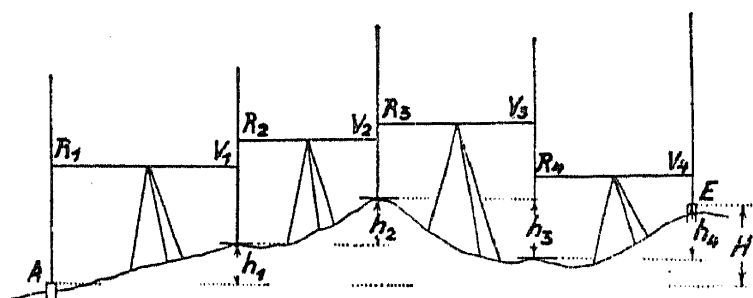
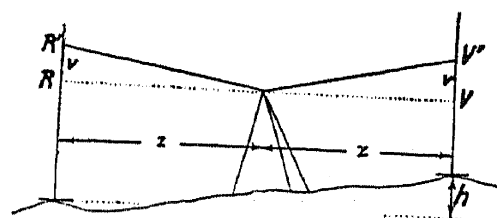



Abb. 155 a. Abb. 155 b.

Schritte Genauigkeit für den praktisch üblichen Abstand von bis zu 40 gleich großen Schritten) herzustellen.

Bei Fein- oder Präzisionsnivellement wird die Gleichheit der Zielweiten durch Ausspannen von Schnüren oder Drähten (meist 20 m Länge) gesichert.

Durch fortgesetzte Aneinanderreihung von Instrument- und Lattenständen entsteht ein Liniennivellement (Abb. 155 a), in dem die Höhen sämtlicher Lattenstandpunkte ermittelt werden können, wenn diese Aufgabe gestellt ist. Als Nivellementhöhen[12] bezeichnet man jene Beträge, die sich durch fortlaufende Summierung der aufeinanderfolgenden Höhenunterschiede ergeben.

Besondere Sorgfalt ist bei der Drehung jeder Latte in den sog. Wendepunkten zu beachten. Zur Vermeidung eines Einsinkens bei der Drehung wird man entweder nur feste Aufsetzbodenpunkte verwenden oder besondere tragbare Unterlagsplatten (Lattenuntersätze).

Es ist zu empfehlen, immer nach einigen Instrumentständen (nach etwa 500 Schritten Nivellementweg) einen festen Bodenpunkt in das Nivellement einzubeziehen und nach dem sog. Hinnivellement für diesen Abschnitt sogleich das Rücknivellement unabhängig anzuschließen, d. h. unter Umständen wohl mit den gleichen Lattenstandpunkten, aber nur nahezu gleichen Instrumentständen.

Die Aufschreibung eines Liniennivellements ist durch das folgende Beispiel erläutert.

Sicht	Latte rückw. R vorw. V	$R - V$		Punkt		
		+	−	Nr.	Höhe	
A 1	24,76 6,37	18,39		A 1	100,00 118,39	18,39
1 2	20,94 0,83	20,11		2	138,50	20,11
2 3	1,42 17,37		15,95	3	122,55	.84,05
3 E	18,48 11,77	6,71		E	129,26	6,71
ΣR ΣV	65,60 36,34 29,26	Σ 45,21 29,26	Σ 15,95	$E - A$	29,26	29,26

Die aus der Anschreibung ohne weiteres erkennbare Art der Ausrechnung kann auch mit dekadischer Ergänzung[13] geführt oder überprüft werden. Anstelle von 1,42 — 17,37 = —15,95 wäre dann, immer durch Abziehen des unteren Betrages vom oberen, zu rechnen 1,42 — 17,37 = . 84,05, wo der vor die Ziffer 8 gesetzte Punkt andeutet, daß die erste Zahl um 100 vermehrt werden mußte.

Auf diese Art erhält man die im vorigen Schema zusätzlich rechts angeschriebenen Werte 18,39, 20,11, . 84,05, 6,71. Ihre Schlußsumme lautet 129,26, und da der unter der Ziffer 1 stehende Punkt diese Eins aufhebt, entsteht wieder 29,26.

Auch die Berechnung der Punkthöhen erfolgt gleichartig, nämlich 138,50 + . 84,05 = 222,55 = 122,55, wie bei der gewöhnlichen Ausrechnung in der Tabelle.

Für den Fall, als die Seehöhe des Ausgangspunktes A noch nicht bekannt ist, oder es überhaupt nur auf die Höhenunterschiede ankommt, kann man für A eine runde Bezugshöhe (etwa wie im vorigen Beispiel $H_A = 100$) annehmen.

Zur Einbeziehung eines Punktes P abseits vom Nivellementweg wird man P, bei nur kleinem Abstand, direkt als sog. Seitwärtspunkt, von einem geeignet gewählten Instrumentenstand aus, nach Erledigung der beiden Hauptvisuren, mitbestimmen. Bei zu großem Abstand des Seitwärtspunktes verbindet man ihn nach fertiggestelltem Nivellement des betreffenden Abschnittes mit einem vorher in Aussicht genommenen festen Bodenpunkt durch ein eigenes kurzes Nivellement.

Das hier geschilderte einfachste Nivellierverfahren mit einspielender Libelle wurde in mancher Hinsicht abgeändert und für genauere Zwecke verfeinert.

Um das bei Drehung der Latte mögliche Einsinken vollständig zu vermeiden, verwendet man Latten mit Teilungen an beiden Flächen. Zur Vermeidung des Herumtretens beim Instrument, kann das Einspielen der Libelle mit einem über ihr neigbaren Spiegel beobachtet und knapp nachher, bei nur geringer Kopfbewegung, an der Latte abgelesen werden.

Da das scharfe Einspielen von empfindlichen Libellen beträchtlichen Zeitaufwand erfordert, arbeitet man bei sehr genauen Nivellements auch mit nicht einspielender Libelle. Im Augenblick der Lattenablesung wird auch die Lage der Blasenenden beobachtet, und mit der sehr genau bestimmten Empfindlichkeit τ [18,1] berechnet man nachträglich die geringe Neigung β des Zielstrahles. Die geforderte Lattenablesung für einspielende Libelle (waagrechte Zielung) ergibt sich dann durch sinngemäß richtige Verbesserung der Lattenablesung um jenen kleinen Lattenabschnitt $\frac{\beta \cdot z}{\varrho}$, der der Neigung β in der gemessenen Zielweite z entspricht.

Eine Verschärfung der Lattenablesung kann man bei Instrumenten mit vorhandenem Vertikalmikrometer (*Stampfer*scher Schraube) auf dem folgenden Weg erhalten.

1. Ablesung R'' (fehlerhaft um den Schätzungsbetrag) und Ablesung der Meßschraube n.

2. Einstellung auf die benachbarte tiefere Grenze r_1 des Lattenintervalls (fehlerhaft um den geringeren Einstellfehler), Ablesung der Meßschraube n_1.

3. Einstellung auf die benachbarte höhere Intervallgrenze r_2, Ablesung der Meßschraube n_2.

4. Bestimmung des Rechnungswertes R' der Ablesung, nämlich

$$R' = r_1 + (i) \frac{n - n_1}{n_2 - n_1},$$

wo (i) die Intervallgröße bedeutet.

5. Bildung des Mittelwertes $R = \frac{R'' + R'}{2}$.

Weitere Verfeinerungen des Meßvorganges ergeben sich durch besondere Einrichtungen, die bei Besprechung der Instrumente genannt werden.

Je nach dem Zweck des Nivellements unterscheiden wir:

a) Linien-, Strecken-, Gefällnivellement, zur Bestimmung der Höhenunterschiede von zwei oder mehreren Punkten, die in geeigneter Weise (Nivellementbolzen) bezeichnet sind und die Aufstellung der Latte oder (bei Wandmarken, z. B. auf Bahn-

höfen) die Anhängung einer Ableseteilung ermöglichen. Bei Nivellement zur Gefällbestimmung fließender Gewässer werden die Höhenunterschiede von Pegelpflöcken bestimmt, die aus dem Wasser ragen. Zu einem gegebenen Zeitpunkt sind die Höhen der Aufsetzpunkte der Latte über der Gewässeroberfläche zu messen.

b) Profilnivellement zur Festlegung der Höhen in geradlinigen oder gebrochenen Geländeschnitten, wobei man in kürzeren Querprofilen vielfach das Staffelzeug oder die einfachsten Hilfsmittel (Pendelnivellierinstrumente) verwendet.

c) Flächen- oder Geländenivellement zur Ermittlung der Höhenlage für eine flächenhafte Verteilung meist zahlreicher Punkte, zur Herstellung eines Schichtenplanes. Bei der Durchführung dieser praktisch sehr wichtigen Aufgabe sind die folgenden schlagwortartigen Hinweise zu beachten.

Auspflockung der Bruchpunkte in Fall-Linien des Geländes, alle Pflockoberflächen möglichst gleich hoch über dem natürlichen Boden, Nummerbezeichnung am Pflock oder auf besonderem Nummerpflock. Herstellung einer lagerichtigen Skizze mit geschätzten Formlinien des Geländes. Horizontalvermessung durch Polaraufnahme (mit optischer Distanzmessung) aus geeignet gewählten Standpunkten bei gleichzeitigem Nivellement für einen der angestrebten Genauigkeit entsprechenden Umkreis oder — bei zu großen Höhenunterschieden — Profilnivellement getrennt von der Horizontalaufnahme. Wegen der verschiedenen Zielweiten ist Nivellement aus der Mitte unmöglich und daher sehr gute Berichtigung des Instrumentes erforderlich. Der Höhenanschluß der Teilflächen soll über mehrere Kontrollpunkte erfolgen.

Herstellung des Schichtenplanes nach Kartierung durch Interpolation nur in der Richtung der in der Skizze dargestellten, in der Natur gut erkundeten Fall-Linien des Geländes mit geeigneten Geräten (Schichtensuchern) oder einfachsten Hilfsmitteln (Harfe, Millimeterpapier).

Als ein sehr praktisch und rasch arbeitendes Gerät erwähnen wir den Schichteneinschalter Spiegl-Fromme (Abb. 156) des feinmechanischen Institutes *A. Fromme,* Wien.

Zur Arbeit wird die Grundplatte a so auf den Plan gelegt, daß die Kante ihres durchsichtigen Lineals mit der Verbindungslinie der beiden gegebenen Punkte zusammenfällt und der Indexstrich z_1 auf den tieferen Punkt zeigt. Man verschiebt den Schlitten c mit seinem Senkrechtlineal e, bis die Pikiernadel d über dem höheren Punkt steht. Das Maßstablineal f mit der Indexlinie i_2 und drei Teilungen, deren Intervalle je nach der Geländeneigung als Höhenunterschiede von 10 m, 1 m oder 1 dm deutbar sind, ist vorerst in der Nut von b soweit zu verschieben, bis der Index z_2 die Höhenkote des tieferen Punktes anzeigt und hernach zu schwenken, bis die Indexlinie i_1 von e auf i_2 die Kote des höheren Punktes abschneidet. Bei Festhaltung

des Lineals f verschiebt man nun die Indexlinie i_1 auf die gewünschten Zwischenknoten und pikiert die entsprechenden Punkte mit der Nadel d.

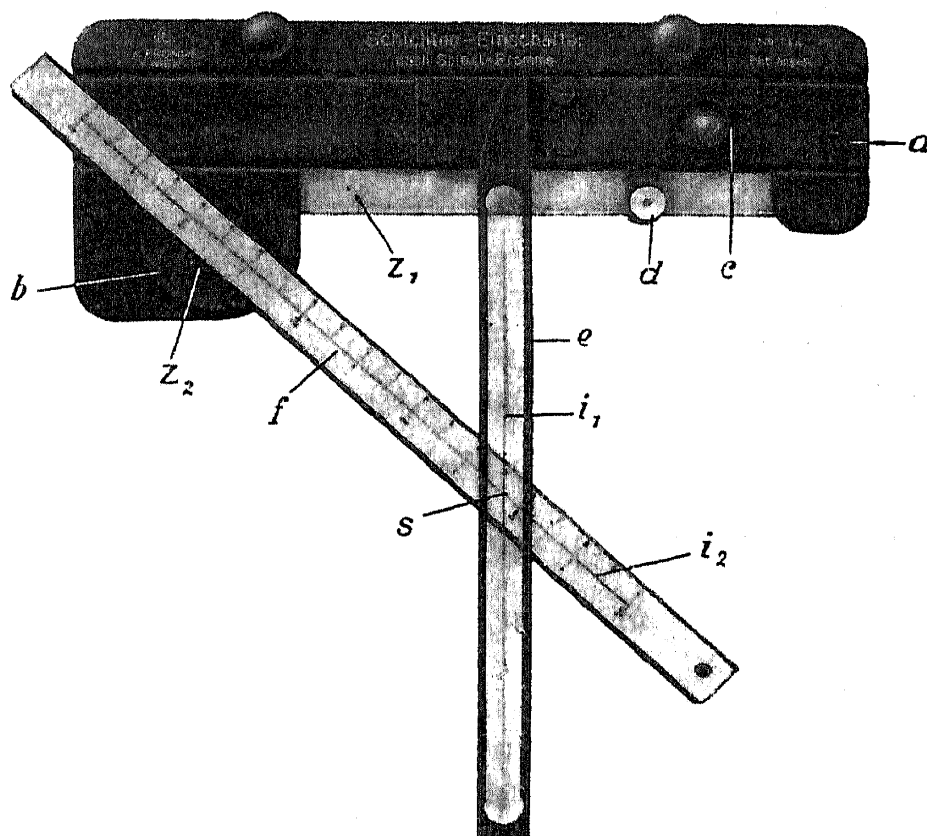



Abb. 156. *(Fromme.)*

26,2 Fehlereinflüsse und Genauigkeit

Als systematisch wirkende Fehlereinflüsse [14] erkennen wir die von Feuchtigkeits- und Temperaturschwankungen verursachte Änderung der Länge gewöhnlicher Latten, die man durch oftmalige Ermittlung des sog. Lattenmeters, im Vergleich mit einem geeichten Normalmeter, unter Kontrolle hält und im Endergebnis rechnerisch berücksichtigt, sowie das beim Wenden der Latte mögliche Einsinken, wodurch die Ablesung R größer ausfällt, als sie es bei Nichteinsinken wäre, so daß wegen $h = R - V$ die Höhenunterschiede im allgemeinen zu groß gemessen werden.

Bei gleichmäßig geneigten Nivellementlinien verlaufen die waagrechten Zielungen in verschiedener Höhe über dem Boden, wodurch ebenfalls ein systematischer Fehler wegen Differentialrefraktion entsteht[14a].

Wenn zufolge mangelhafter Berichtigung der Haltedosenlibelle die Latte nicht lotrecht steht, sondern geneigt, wird jede Ablesung sich größer ergeben als bei lotrechter Latte.

Zu allen diesen regelmäßig verfälschenden Einflüssen tritt noch der unregelmäßige Anteil aus störenden Pendelungen bei freihändig gehaltener Latte, die für gute Arbeit daher immer verspreizt werden soll.

Hinsichtlich der beim Instrument möglichen Fehler erkennen wir als regelmäßig wirkende Einflüsse die Folge einer mangelhaften Berichtigung bei ungleichen Zielweiten, Parallaxe bei der Libellenbeobachtung (insbesondere bei nicht normaler Draufsicht oder schlecht gewählter Spiegelstellung) und die unregelmäßige Wirkung der Fehler bei der Ablesung an der Latte bzw. die Einspielungsungenauigkeit der Libelle.

Der Unterschied d zwischen den Ergebnissen des Hin- und Rücknivellements ist zufolge [II 19] unmittelbar ein Maß für den m. F. $m_v = m_r = \frac{d}{\sqrt{2}}$ des ausgeführten einfachen Nivellements H_v oder H_r.

Das arithmetische Mittel beider Nivellierungen, nämlich $H_o = \frac{H_v + H_r}{2}$, wird daher den m. F. $m_o = \frac{d}{2}$ aufweisen.

Hat man die einmalige Bestimmung des Höhenunterschiedes H_v oder H_r zwischen zwei Punkten auf dem Nivellementweg von der Länge L ausgeführt, dann ist mit den Ergebnissen von [II 36] der m. F. eines solchen Höhenunterschiedes durch die Formel $m_v = m_r = c\sqrt{L}$ auszudrücken, so daß wir in unserem Fall erhalten $c = \frac{d}{\sqrt{2L}}$.

Der Wert c gibt den m. F. eines einfachen Nivellements mit der Zielweitensumme von einem Kilometer an oder auch kurz den mittleren Kilometerfehler[15] des einfachen Nivellements. Man kann daher aus c nachträglich den m. F. m einer in die Rechnung eingeführten Lattenablösung während des betreffenden Nivellements bestimmen, nämlich $m = c\sqrt{z}$, wo z die durchschnittliche Zielweite darstellt, die im gleichen Maß wie L auszudrücken ist.

Soll der Durchschnittswert c für eine Gruppe von n ausgeführten Doppelnivellements festgestellt werden, dann bestimmt man vorerst nach [II 19] die mittlere Differenz D_o dieser Gruppe und erhält damit

$$c = \frac{D_o}{\sqrt{2}}.$$

Hat man aber geschlossene Nivellementzüge (Schleifen) auf der jeweiligen Weglänge L hin und zurück nivelliert, sodann gemittelt und den Abschlußwiderspruch w (siehe [26,3]) erhalten, so ergibt sich bei n derartigen Schleifen:

$$c^2 = \frac{1}{n}\left[\frac{2\,w^2}{L}\right].$$

Es ist üblich, die Nivellementgenauigkeit[16] durch den m. F. c eines Nivellements von 1 Kilometer Weglänge zu kennzeichnen und wir unterscheiden:

T e c h n i s c h e N i v e l l e m e n t s, für einfache Bauzwecke ($c = 40$ mm), für genauere Arbeiten ($c = 20$ mm), für größere technische Festpunktnetze ($c = 10$ mm). F e i n n i v e l l e m e n t s (z. B. zur Verdichtung des Landeshauptnetzes), $c = 5$ mm, P r ä z i s i o n s n i v e l l e m e n t s zur Festlegung des Hauptnetzes der Landesvermessung oder Zwecke der Erdvermessung überhaupt sowie für Senkungsbeobachtungen bei Hoch- und Tiefbauten und im Bergbau, wobei der Wert $c = 3$ mm nicht überschritten werden darf.

Zur sicheren Einhaltung dieser Fehlergrenzen dürfen Doppelnivellements für die oben angegebenen Zwecke auf 1 km Weglänge höchstens die folgenden m. F. aufweisen: Technische Nivellements (8 mm, 4 mm, 2 mm), Feinnivellements (1 mm), Präzisionsnivellements (0,5 mm).

26,3 Die orthometrische und dynamische Korrektion des geometrischen Nivellements

Schon die in der Einleitung zu [26] gegebenen Hinweise auf die Nichtparallelität benachbarter Niveauflächen und die Entstehung des sphäroidischen Schlußfehlers D lassen erkennen, daß die im Verlauf eines geometrischen Nivellements auf dem Weg von A (Seehöhe $H_A = A''A$) (Abb. 157) nach E (Seehöhe $H_E = E''E$) ermittelte und durch Summierung der nivellierten Höhenunterschiede $h_i = R_i - V_i$ entstehende sog. Nivellementhöhe $\sum_A^E h_i$ von dem gesuchten Seehöhenunterschied $E'E$ abweichen muß[17].

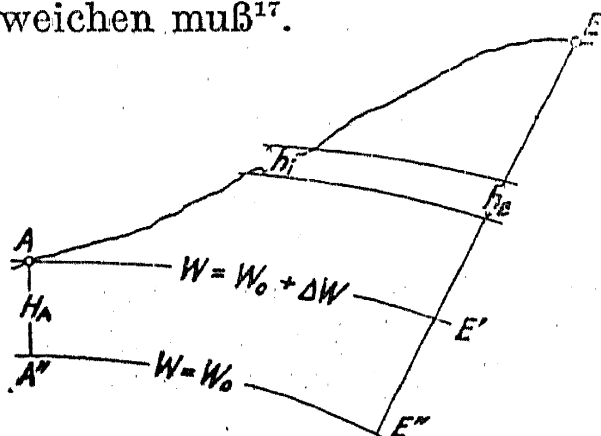



Abb. 157.

Wenden wir den Satz $g\,dh = \text{const}$ auf zusammengehörige endliche Abstände derselben Niveauflächen an, nämlich einerseits mit $g_i h_i = \text{const}$ für den tatsächlichen Nivellementweg auf der Erdoberfläche und andererseits für die Lotlinie $E'E$, wo wir die betreffenden Werte durch den Index E kennzeichnen, mit $g_E h_E = \text{const}$, so ergibt sich aus $g_i h_i = g_E h_E$ der gesuchte Seehöhenunterschied mit

$$E'E = \sum_{E'}^{E} h_E = \sum_{A}^{E} \frac{g_i}{g_E} h_i.$$

Führt man hier zufolge der nur geringen Abweichung zwischen den Schwerkraftbeschleunigungen die Beziehung

$$g_i = g_E (1 + \mu), \text{ also } \mu = \frac{g_i - g_E}{g_E}$$

ein, so entsteht

$$E'E = \sum_{A}^{E} h_i + \sum_{A}^{E} \mu\, h_i.$$

Der zweite Ausdruck, die sog. orthometrische Korrektion V, verwandelt die durch das erste Glied dargestellte Nivellementhöhe von E (die man auch als rohe Seehöhendifferenz zwischen A und E bezeichnet) in den gesuchten Seehöhenunterschied $E'E$.

Die strenge Berechnung der orthometrischen Verbesserung V stößt auf Schwierigkeiten, da wohl die Werte g_i der Schwerkraftbeschleunigung in den Instrumentenstandpunkten i des Nivellements ermittelbar sind, nicht aber die Beträge g_E für die entsprechenden, im Erdinnern auf der Lotlinie $E'E$ liegenden Punkte. Man benützt daher behelfsweise die theoretische, von der geographischen Breite φ und der in Metern ausgedrückten Seehöhe H abhängige Veränderlichkeit der Schwerkraftbeschleunigung, nämlich

$$\gamma = 980{,}629 \left(1 - 0{,}002\,637 \cos 2\varphi - 2\frac{H}{R}\right) \text{cmsec}^{-2}$$

worin R den entsprechenden mittleren Erdradius darstellt[18].

Nach hier nicht mitgeteilten Entwicklungen[19] findet man die theoretische orthometrische Verbesserung V' mit dem Betrag

$$V' = \frac{\beta}{R} F \sin 2\varphi_m,$$

so daß die Gleichung zur Bestimmung der gesuchten Seehöhe $H_E = E''E$ des Punktes E (Abb. 157), aus der gegebenen Seehöhe $H_A = A''A$ des Punktes A, die folgende Form annimmt:

$$H_E = H_A + \sum_{A}^{E} h_i + \frac{\beta}{R} F \sin 2\varphi_m.$$

Die Größe $\beta = 0{,}005\,274$ entspricht dem doppelten Wert des Koeffizienten von $\cos 2\varphi$ in der obigen Formel der theoretischen Schwerkraftbeschleunigung γ, und für φ_m bzw. R ist die mittlere geographische Breite des Nivellementweges bzw. der entsprechende mittlere Erdradius zu setzen.

Projiziert man den Nivellementweg und die Lotlinien von A bzw. E auf einen Meridian, so stellt die einerseits von diesen Projektionen und andererseits von der Meridianspur des Geoides $W = W_0$ umschlossene Fläche den obigen Wert F dar. Fassen wir also etwa die Abb. 157 als eine derartige Projektion auf, dann wird die Fläche F dort von dem Linienzug $A'' \, A \, E \, E'' \, A''$ begrenzt.

Nach Einsetzung von Mittelwerten φ_m, R, die einen größeren Arbeitsbereich kennzeichnen, in den Ausdruck $k = \frac{\beta}{R} \sin 2\varphi_m$, ergibt sich die für praktische Zwecke ausreichende Näherungsformel

$$V' \doteq k \, H_m \, L,$$

in der die Fläche F der Meridianprojektion zu einem Rechteck mit den Seiten H_m bzw. L vereinfacht wurde, wobei H_m die mittlere Seehöhe des Nivellements und $L = A'' E''$ den horizontalen Punktabstand in der Meridianprojektion bedeutet.

Für die Mittelbreite $\varphi_m \doteq 48^0$ (Österreich) entsteht beispielsweise die Formel

$$V' \doteq 0{,}827 \, H_m \, L,$$

aus der sich V' in Millimetern ergibt, wenn $F \doteq H_m L$ in km² ausgedrückt wird.

Wie aus den Angaben der allgemeinen Einleitung zu [26] hervorgeht, ist das Vorzeichen der orthometrischen Verbesserung positiv zu nehmen, wenn man das Nivellement in der Richtung von Norden nach Süden durchrechnet, aber negativ bei entgegengesetzem Verlauf.

Für eine Nivellementschleife[20] ($H_E = H_A$) entsteht $\sum\limits_A^E h_i = -V \doteq$ $\doteq -V'$, so daß ihr fehlerfrei angenommenes Nivellement den theoretischen Schlußfehler $D' = -V'$ aufweisen muß. Umgrenzt also z. B. die Meridianprojektion einer solchen in der Mittelbreite $\varphi_m \doteq 48^0$ liegenden Schleife ein Rechteck von $L = 100$ km Länge und $H_m =$ $= 100$ *m* Höhe ($F = 10$ km²), so müßte sich bei fehlerfreiem Nivellement, entsprechend der obigen Näherungsformel, ein Schlußfehler vom Absolutwert $|D'| \doteq 8{,}27$ mm einstellen. Die relative Kleinheit der orthometrischen Korrektion bringt es mit sich, daß sie nur bei sehr genauen Arbeiten berücksichtigt wird und bei gewöhnlichen technischen Nivellements unbeachtet bleibt, wo man die ermittelten Nivellementhöhen den Seehöhen gleichsetzt.

Weitere Einzelheiten zur strengen orthometrischen Reduktion[21], wie sie von *Baeschlin*, *Helmert*, *Niethammer* entwickelt wurden und insbesondere für die Berechnung der Präzisionsnivellementlinien im Gebirge von Wichtigkeit sind, müssen im Bedarfsfall den angegebenen Literaturhinweisen entnommen werden.

Wir wollen nun noch, zur Ergänzung der vor [26] gegebenen allgemeinen Bemerkungen, die Reduktion der durch geometrisches Nivellement ermittelten rohen Seehöhen in dynamische Höhen verfolgen.

Entsprechend der Definition der Arbeitshöhe $\Delta_{A''}^{A}$ des Punktes A (Abb. 154), nämlich

$$\Delta_{A''}^{A} = -\frac{\Delta W}{\gamma_0^{45}} = -\frac{W_0 - W_A}{\gamma_0^{45}}$$

und durch Anwendung des Satzes $dW = -g\,dh = \text{const}$ auf die durch Nivellement sich ergebenden endlichen Abstände h_i der Niveauflächen (Abb. 157), nämlich

$$W_A - W_0 = -\sum_{A''}^{A} g_i h_i,$$

entsteht

$$\Delta_{A''}^{A} = +\sum_{A}^{A} \frac{g_i}{\gamma_0^{45}} h_i = \sum_{A''}^{A} h_i + \sum_{A''}^{A} \frac{g_i - \gamma_0^{45}}{\gamma_0^{45}} h_i.$$

Wenn wir die durch den zweiten Ausdruck gegebene dynamische Korrektion abkürzend mit D. K. bezeichnen[22], so erkennen wir die Beziehung

$$\text{Arbeitshöhe} = \text{Nivellementhöhe} + \text{D. K.}$$

und sehen, daß die D. K. dann streng berechenbar ist, wenn für alle Standpunkte i des geometrischen Nivellements die Werte g_i der Schwerkraftbeschleunigung vorliegen.

In ähnlicher Weise wie für die strenge orthometrische Korrektion V mit der theoretischen orthometrischen Verbesserung V' ein Ersatz durch die Einführung der theoretischen Schwerkraftbeschleunigung γ gefunden wurde, greifen wir auch hier wieder auf diese zurück. Als Ergebnis hier unterlassener Entwicklungen erhält man für die theoretische dynamische Korrektion (D. K.)′ den Betrag

$$(\text{D. K.})' = -\frac{\beta}{R} H \cos 2\varphi_m - \frac{H^2}{R},$$

wo neben $\beta = 0{,}005\,274$ die Größen H bzw. φ_m und R die vorhin angegebene Bedeutung haben, Seehöhe von A bzw. mittlere geographische Breite und mittlerer Erdradius für den Nivellementweg[23].

Dem bereits erwähnten Vorteil, daß alle Punkte mit gleicher dynamischer Höhe derselben Niveaufläche angehören und daher zur Überwindung von gleich großen dynamischen Höhenunterschieden gleich große Arbeitsleistungen erforderlich sind, steht der Nachteil gegenüber, daß die dynamischen Korrektionen außerhalb des Flachlandes im allgemeinen sehr große Werte annehmen.

Hinsichtlich weiterer Einzelheiten wird auf die angegebene Literatur verwiesen.

26,4 Berichtigung gewöhnlicher Nivellierinstrumente

Einfachste Geräte

Für ganz rohe Zwecke kann ein Winkelspiegel oder Winkelprisma nach Angabe der Abb. 158 a verwendet werden[24]. Das Bild des ruhig lotrecht hängenden Senkels gibt im Gelände den Schnitt des Augenhorizontes und, mit dem Augenabstand J vom Boden, den gesuchten Höhenunterschied.

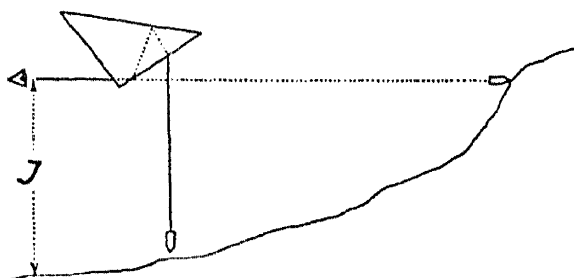
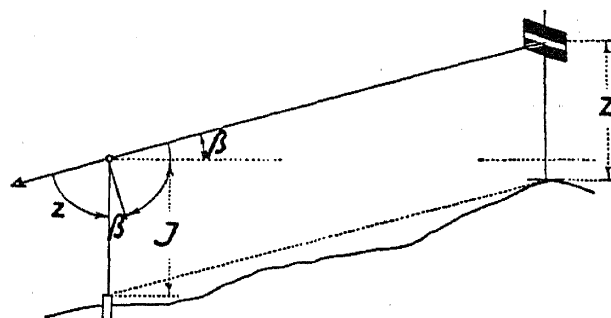



Abb. 158a. Abb. 158b.

In gleicher Art sind alle anderen Pendel- bzw. Libellenfreihandgeräte sowie Pendelhöhenmesser (von *Bose*, *Roubiczek* usw.) zu verwenden, u. zw. sowohl für Nivellierung (nach Einstellung der Neigung 0^0 oder 0 Prozent) als auch für Neigungsmessung oder Neigungsabsteckung, d. h. Trassierung (Abb. 158 b).

Fernrohrnivellierinstrumente einfacher Art

Dem weiten Bereich praktischer Anwendung entsprechend, sind zahlreiche Formen von Geräten entwickelt worden[25].

Wir wollen indessen von einer Darstellung dieser mannigfaltigen Instrumenttypen absehen und nur jene Grundform betrachten, auf die alle Geräte zurückgeführt werden können, nämlich:

Fernrohr mit Nivellierlibelle, deren Spielpunkttangente durch mindestens ein Richtschräubchen gegen die Fernrohrzielung in geringem Maße geneigt werden kann. Das Fernrohr ist durch eine

Höhenschraube (*Stampfer*sche Schraube) gegen die Stehachse des Instrumentunterbaues neigbar.

Die Prüfung dieser Grundform wird immer in der folgenden Art ausgeführt.

A. Stehachse soll während der Beobachtungen lotrecht stehen.

a) Sind Kreuzlibellen oder ist eine Dosenlibelle vorhanden, so berichtigt man sie wie bei einem Theodolit [19,7].

b) Ist nur die Nivellierlibelle vorhanden, so bestimmt man den sog. Markenstand als jene Stellung der Höhenschraube, bei der die Spielpunkttangente der Libelle zur Stehachse normal steht. Hiebei ist der folgende, schlagwortartig angegebene Vorgang einzuhalten.

1. Höhenschraube auf beliebige Ablesung A_1 stellen.
2. Fernrohr in Richtung einer Stellungslinie drehen, die nur mit einer Fußschraube bewegt werden kann, Libelle einspielen lassen, Fernrohr um 90° drehen, Libelle einspielen lassen. Ergebnis: Stehachse steht so gut lotrecht, als es derzeit schon möglich ist.
3. Fernrohr in die Ausgangslage von 2. bringen und Libelle genauest einspielen lassen.
4. Fernrohr um 180° drehen. Folge: Libelle zeigt Ausschlag, der mit der Höhenschraube gänzlich beseitigt wird. Ablesung der Höhenschraubenstellung gibt A_2. Unterschied $A_2 - A_1$ entspricht dem ganzen Ausschlag.
5. Einstellung der Höhenschraube auf $A_0 = \frac{A_1 + A_2}{2}$, wodurch die Spielpunkttangente der Libelle normal steht zur Stehachse und halber Ausschlag beseitigt ist.
6. Beseitigung des restlichen Ausschlages der Libelle durch Drehung der Fußschraube, wodurch die Stehachse in der Fernrohrebene lotrecht steht. A_0 ist Markenstand.
7. Drehung des Fernrohres um 90°, Beseitigung des ganzen Ausschlages mit der oder den entsprechenden Fußschrauben. Folge: Stehachse steht überhaupt lotrecht.
8. Sollte die Libelle bei 360° Drehung des Fernrohres noch einen Ausschlag zeigen, so wird der geschilderte Vorgang wiederholt. Es ist dies indessen nur dann notwendig, wenn die Libelle mehr als 1—2 Intervalle Ausschlag angibt.

B. Horizontalfaden soll waagrecht liegen.

Bei gut lotrechter Stehachse: Horizontalfaden auf einen Punkt am Rand des Gesichtsfeldes einstellen und Fernrohr horizontal fein bewegen. Gleitet der Punkt am Faden, so liegt dieser richtig. Entfernt sich jedoch der Punkt vom Faden, so wird die Halteschraube der Fadenkreuzplatte gelöst und diese um den halben Punktabstand verkantet. Wiederholung, bis der Punkt am Faden gleitet. Festziehen der Fadenkreuzhalteschrauben. Auch bei ausgeführter Berichtigung ist immer möglichst nahe dem Vertikalfaden abzulesen.

C. Bei einspielender Nivellierlibelle soll die Zielung waagrecht sein.

Prüfung: Durch Nivellement aus der Mitte.

Vorgang: Zwei feste Lattenstände (Abb. 159) mit geringem Höhenunterschied in etwa 80 Schritt (der Ablesegenauigkeit angepaß-

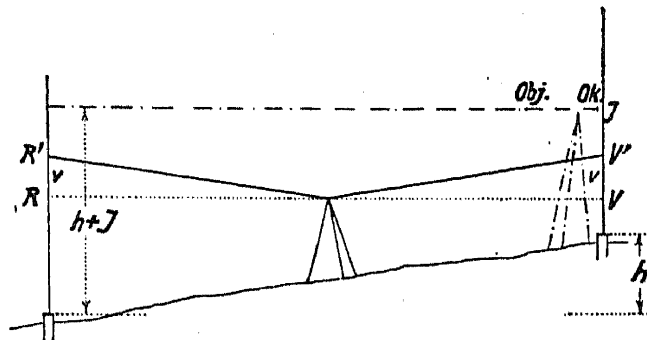



Abb. 159.

tem) Abstand bei gegenseitiger Sichtmöglichkeit. Instrument in gleichen Abständen von beiden Latten.

Stehachse lotrecht richten!

1. Parallaxenfreie Zielung zur Latte R, scharfes Einspielen der Libelle mit der Höhenschraube, Ablesung R'.
2. Ohne Veränderung der Okularstellung Zielung zur Latte V, scharfes Einspielen der Libelle mit der Höhenschraube, Ablesung V'.
3. $R' - V' = h$, d. i. richtiger Höhenunterschied, wegen Nivellement aus der Mitte [26,1].
4. Instrument zur höheren Latte (mit der kleineren der beiden Ablesungen R' bzw. V') tragen und vor der Latte so aufstellen (in Abb. 159 strichpunktiert), daß das Okular nur wenig von der Teilung absteht. Stehachse lotrecht richten und schließlich Libelle mit der Höhenschraube scharf einspielen lassen.

   Einblick durch das Objektiv und Lage des Horizontalfadens in der Teilung mit Bleistift bezeichnen. Ablesung dieser Bleistiftmarke gibt Höhe J der Zielung über dem Lattennullpunkt.
5. Parallaxenfreie Zielung nach der anderen Latte, Einstellung von $R_0 = h + J$ durch Neigung des Fernrohres mit der Höhenschraube.
   Folge: Zielung ist waagrecht. Einspielen der Libelle mit ihrem Richtschräubchen.

   Ergebnis: Libelle spielt bei waagrechter Zielung, Instrument ist berichtigt.

Zusätzliche Bemerkungen

Abweichungen von der hier angenommenen Grundform bezwecken meist eine Vereinfachung des hier dargestellten Vorganges der Prüfung und Berichtigung bzw. eine Verfeinerung der späteren Meßarbeit unter bestimmten Voraussetzungen über die feinmechanische Ausführung des Gerätes, die aber selbst erst wieder überprüft

werden müssen, ehe die beabsichtigte Vereinfachung angewendet werden darf.

Solche Voraussetzungen sind z. B. bei einem umlegbaren Fernrohr: die Gleichheit der Ringhalbmesser der Fernrohrlager und das Zusammenfallen der Fernrohrdrehachse mit seiner optischen Achse; bei einer abhebbaren Libelle: die Parallelität der Spielpunkttangente mit der Lagerachse usw[26].

Selbst wenn bei einem neuen Instrument solcher Bauart die angedeuteten Voraussetzungen erfüllt sein sollten, wird die durch Gebrauch eintretende Abnützung allmählich die beabsichtigte Vereinfachung verhindern, und man wird gewöhnlich gezwungen sein, z. B. auf die Umlegbarkeit auch schon deshalb zu verzichten, weil ein Staubkorn auf einem der Fernrohrlager bereits eine meßbare Lageabweichung erzeugt.

Aus diesen und vielen anderen rein praktischen Gründen haben wir hier auf eine Darstellung der Sonderberichtigung solcher Instrumente verzichtet und uns auf die Behandlung der Grundform beschränkt.

Es ist durchaus zu empfehlen, ein von dieser Grundform abweichend konstruiertes Instrument stets so zu prüfen wie es geschildert wurde, denn hiedurch erhalten wir nicht nur die Gewähr für ein einwandfreies Gelingen der Berichtigung, sondern auch der späteren Messungen.

Als praktisch notwendige Ergänzung sei nun nur noch der Fall behandelt, daß das Fernrohr eines Theodolites oder eines Bussoleninstrumentes mit einer Doppellibelle [18,1] versehen ist[27].

Hier ergibt sich eine wertvolle Vereinfachung der Berichtigung, wenn ihre beiden Spielpunkttangenten parallel sind. Wir prüfen dies, indem wir das Instrument vorerst wie die Grundform berichtigen, so daß z. B. in der Fernrohrlage I bei einspielender Libelle die Zielung waagrecht liegt. Schlägt man nun das Fernrohr durch, stellt neuerlich auf $h + J$ ein, so ist die Zielung wieder waagrecht, und wenn die Libelle nun auch einspielt, so ist damit bewiesen, daß die beiden Spielpunkttangenten untereinander parallel sind.

Von nun ab darf das Instrument vereinfacht in der folgenden Art überprüft werden.

Berichtigung eines Nivellierinstrumentes mit Doppellibelle, deren Spielpunkttangenten zueinander parallel sind (Abb. 160).

1. Latte in etwa 40 Schritt Entfernung vom Instrument aufstellen.
2. Stehachse lotrecht richten; in Fernrohrlage II: Einspielung der Nivellierlibelle mit der Höhenfeinschraube des Instrumentes, Ablesung $R_2' = R + v$.

3. Fernrohr durchschlagen in Lage I: Einspielung der Libelle, Ablesung $R_1' = R - v$.
4. Bildung des Mittels $R = \frac{R_1' + R_2'}{2}$ gibt die Soll-Ablesung für waagrechte Zielung.

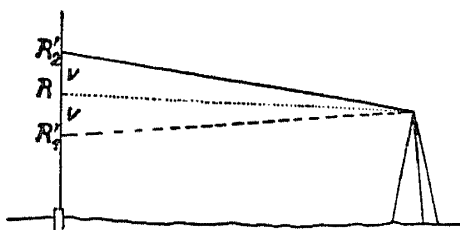



Abb. 160.

5. Fernrohreinstellung auf R und Einspielung der Libelle mit ihrer Richtschraube. Damit ist das Instrument in seiner Gebrauchsstellung (Fernrohrlage I) berichtigt, d. h. bei einspielender Libelle ist waagrechte Zielung vorhanden.

Zusatz: Da sich bei berichtigter, einspielender Libelle am Höhenkreis die Ablesung Null ergeben muß, wenn die Stehachse einwandfrei lotrecht steht, ist ein etwa vorhandener Indexfehler durch Verschiebung der Ableseeinrichtung des Höhenkreises nunmehr abschließend zu beseitigen [21,1].

Mit einem nicht berichtigten Instrument, von dem man indessen weiß, daß seine Nivellierlibelle parallele Spielpunkttangenten besitzt, kann auch bei ungleichen Zielweiten richtig nivelliert werden, indem man in beiden Fernrohrlagen, jedesmal bei gut einspielender Libelle, an der Latte abliest und die Ergebnisse mittelt.

Es sei endlich noch erwähnt, daß ganz einfache Fernrohrnivellierinstrumente, sog. Baunivelliere, keine gesonderte Kippschraube für das Fernrohr besitzen. Man wird hier die Stehachse so genau als möglich lotrecht richten und das notwendige scharfe Einspielen der Nivellierlibelle, knapp vor der Lattenablesung, durch Bewegung jener Stellschraube herbeiführen, die für die betreffende Libellenlage am günstigten wirkt.

Bei zahlreicheren Zielungen, z. B. anläßlich von Geländeaufnahmen, ist in diesem Falle oftmalige Verbesserung der Stehachsenstellung erforderlich.

Mit der Begründung, daß der Aufbau und die wenigen Einzelteile des einfachen Nivellierinstrumentes, auf das wir uns hier bezogen haben, jedem Praktiker hinreichend bekannt ist, aber auch von jedem Anfänger beim unmittelbaren Anblick leicht erfaßt und verstanden werden kann, verzichten wir auf die Wiedergabe durch eine Abbildung.

Angeregt und geleitet von den umwälzenden Neuerungen, die auch auf dem Gebiet dieser Instrumente ab etwa 1908 von *H. Wild* während seiner Tätigkeit als Konstrukteur bei den *Zeiß*-Werken eingeführt worden sind[28], ist die erwähnte alte Form des Nivellierinstru-

mentes allmählich von allen Erzeugern in eine moderne Bauart entwickelt worden. Ihre allgemeinen Kennzeichen sind die Ausbildung eines immer gedrungeneren Baues, schützende Abschließung der Schrauben und sonstigen Einzelteile bzw. des u. U. vorhandenen Kreises, Benützung des Fokussierfernrohres und die Ersetzung der getrennten Ablesung beider Enden der Libellenblase durch deren Abbildung und Koinzidenzeinstellung mit Hilfe des von *H. Wild* erfundenen Prismensystems über der Libelle[29].

Der allmähliche Übergang von der älteren Bauart bis zur fast vollständigen Wiedergabe jenes Instrumententypus, den wir in der Folge als Bauart *Zeiß-Wild* bezeichnen und später getrennt behandeln, ist aus den anschließenden Abbildungen von Nivellierinstrumenten erkennbar, wie sie derzeit von österreichischen Erzeugern hergestellt werden.

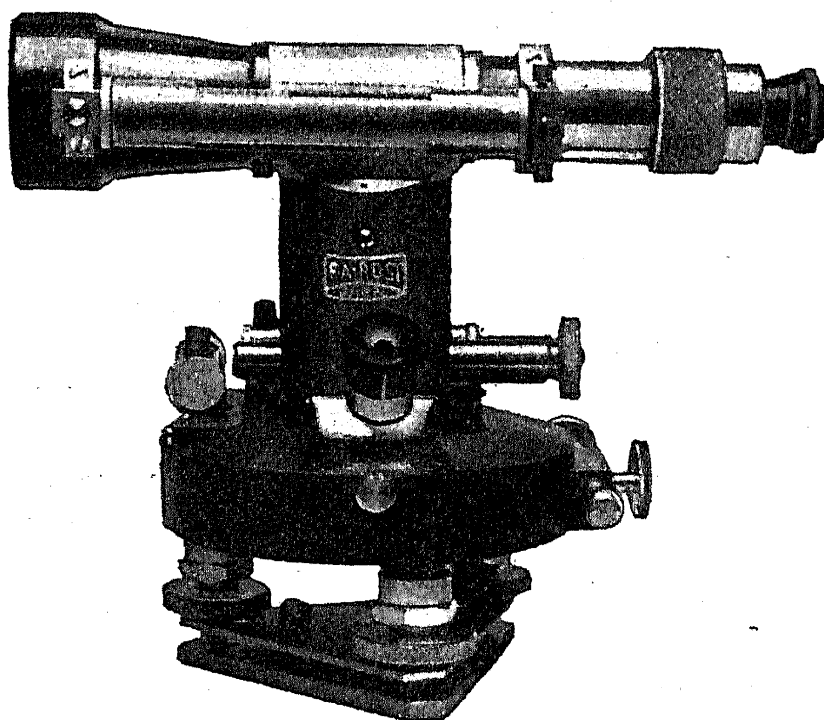



Abb. 161. *(Rost.)*

Abb. 161: Nivellierinstrument Nr. 98 von *R.* u. *A. Rost* in Wien.

In bewußter Wertschätzung der ursprünglichen Bauart wurde die Endenablesung der Doppellibelle beibehalten, die seitlich am axial drehbaren, anallaktischen Fokussierfernrohr befestigt ist. Zur Horizontierung dienen die beiden Kreuzlibellen am vollständig abgeschlossenen Verdeck des Horizontalkreises, der mit einem Nonius von 1′ Angabe abgelesen wird. Die Feineinspielung der Nivellierlibelle vor der Lattenablesung erfolgt mit einer am unteren Ende des Vertikalachsenkörpers rechts sichtbaren Kippschraube.

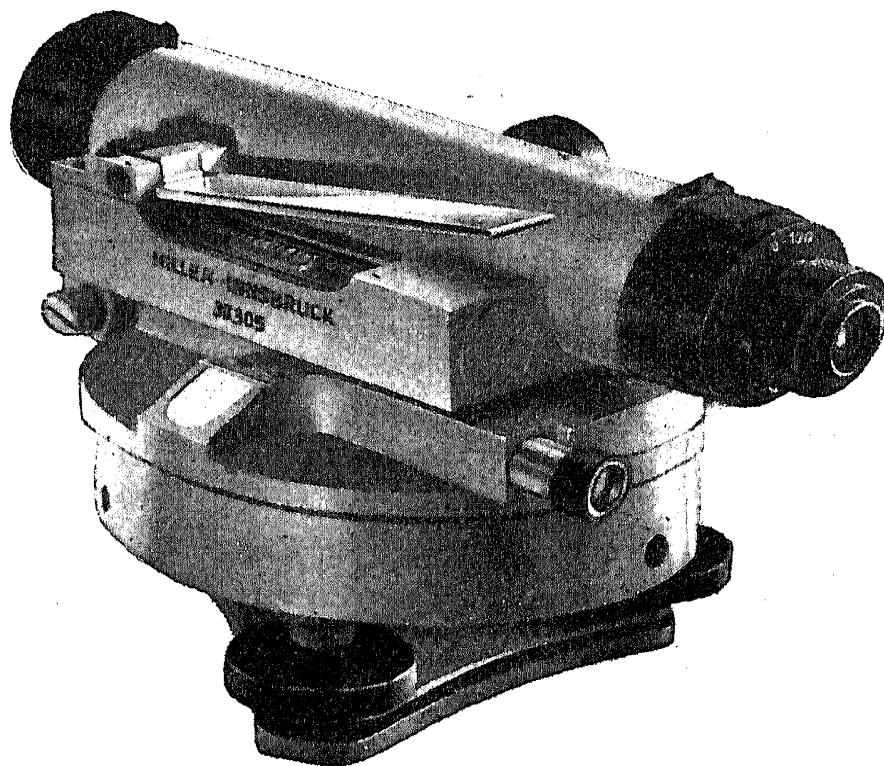



Abb. 162. *(Miller.)*

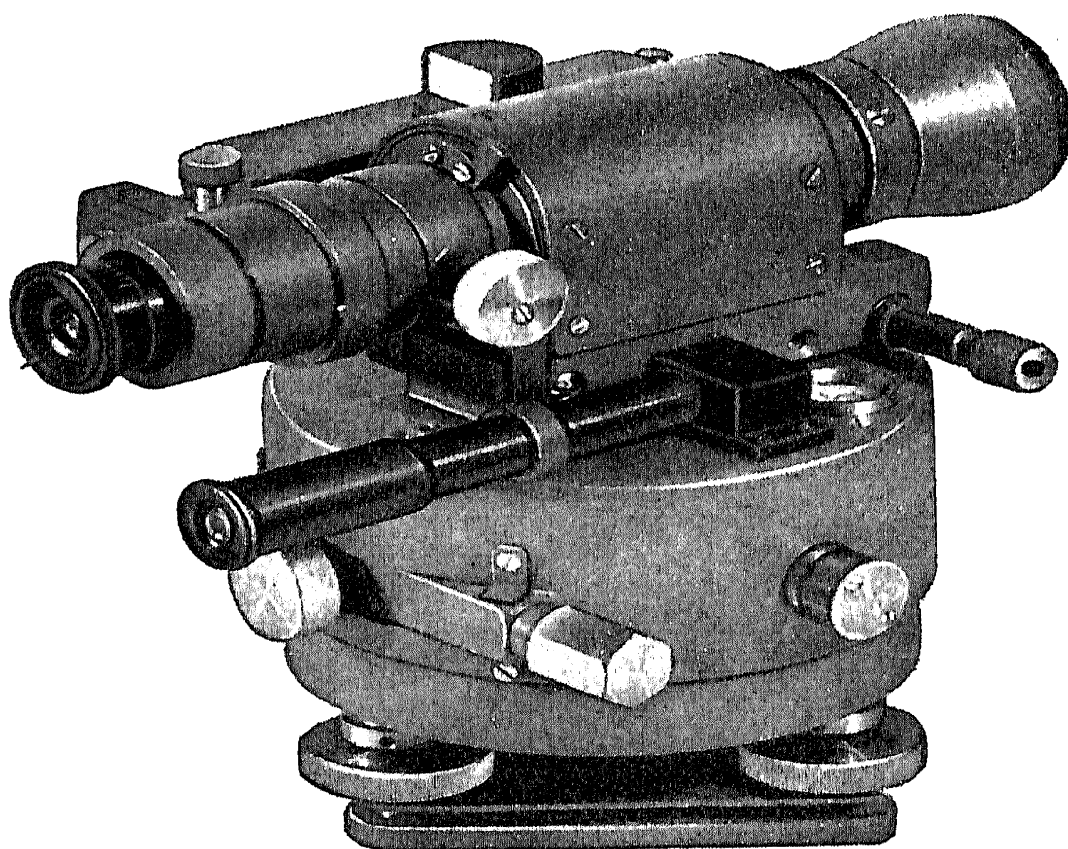



Abb. 163. *(Neuhöfer.)*

Abb. 162: Nivellierinstrument Ni III der *Gebrüder Miller G. m. b. H.* in Innsbruck.

Ein kippbarer Spiegel ermöglicht dem Beobachter ohne Standänderung die Ablesung und Einspielung der einfachen, spannungsfrei gelagerten Röhrenlibelle, deren Gehäuse mit dem anallaktischen Fokussierfernrohr ein einziges Gußstück bildet. Der Horizontalkreis wird mit einem Schätzmikroskop auf 1′ genau abgelesen. Das Einspielen ist, wie weiter vorne geschildert wurde, mit Hilfe der bestwirkenden Stellschraube des Dreifußes zu bewerkstelligen.

Abb. 163: Nivellierinstrument 49 der *Neuhöfer u. Sohn A. G.* in Wien.

Die Grobhorizontierung erfolgt mit Hilfe einer Dosenlibelle. Sie befindet sich auf dem völlig abgeschlossenen Verdeck des Horizontal-

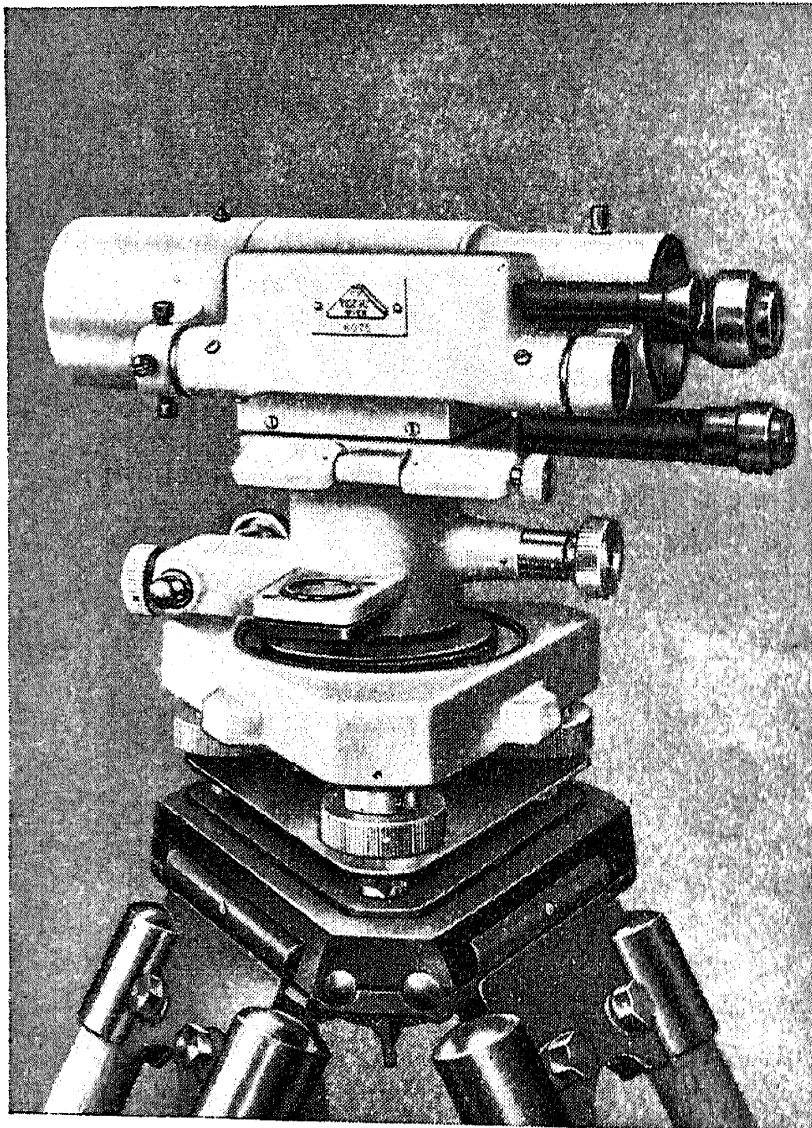



Abb. 164. *(P. Goerz, G. m. b. H.)*

glaskreises, der mit einem zum Fernrohr parallelen Skalenmikroskop auf 1′ genau ablesbar ist. Die Doppellibelle wurde mit einem *Wild*schen Prismensystem ausgestattet und ist mit dem anallaktischen, um seine Achse drehbaren Fokussierfernrohr fest verbunden. Zur Einspielung der Libelle durch Koinzidenz der Blasenenden vor der Lattenablesung dient eine rechts unter dem Objektiv sichtbare, in waagrechter Richtung wirkende Kippschraube. An der Seitenwand des Kreisverdeckes folgen von links nach rechts die Klemme und Feinschraube für die Horizontalbewegung bzw. der Spiegel für die Kreisbeleuchtung.

Abb. 164: Nivellierinstrument V 200 der Optischen Anstalt *C. P. Goerz, G. m. b. H.* in Wien.

Zur Grobhorizontierung dient eine am unteren Ende des Vertikalachsenkörpers angebrachte Dosenlibelle. Die Doppellibelle ist spannungsfrei in einem Gußstück mit dem anallaktischen, axial drehbaren Fokussierfernrohr gelagert. Links neben seinem Okular befindet sich der Lupeneinblick für die Beobachtung der von einem *Wild*schen Prismensystem abgebildeten Blasenenden der Libelle und das rechts unterhalb des Fernrohres vorstehende Mikroskop vermittelt die auf 1′ zu schätzende Ablesung des Horizontalglaskreises.

26,5 Berichtigung von Nivellierinstrumenten der Bauart *Wild-Zeiß*

Die ursprünglichen Formen der durch *H. Wild* konstruierten Nivellierinstrumente von *Zeiß* waren für die Berichtigung von einem Standpunkt aus eingerichtet. Das Fokussierfernrohr mit seitlich liegender Doppellibelle besaß ein austauschbares Okular (nur zum Zwecke der Berichtigung), das in einem besonderen Fassungsring vor das Objektiv geschoben werden konnte, wodurch zwei Ziellinien entstanden. Die Bildschärfe wurde für beide Zielungen durch die Bewegung der Fokussierlinse hergestellt. Das Fernrohr war in seinen Lagern drehbar, so daß die Libelle sich einmal links und, nach der Drehung des Fernrohres, rechts von ihm befand[80].

Bei den neueren Formen der Nivellierinstrumente vom Typus *Zeiß-Wild* ist die Umsteckbarkeit des Okulars aufgegeben worden, und sie werden immer, so wie bei den einfachen Geräten beschrieben, aus zwei Standpunkten berichtigt.

Bei allen Instrumenten dieser Bauart wurde die für sie typische Abbildung der Libelle mit einem Prismensystem beibehalten [18,1], das die Blasenenden dem Beobachter während der Arbeit fast ohne

Kopfbewegung sichtbar macht oder überhaupt in das Gesichtsfeld des Fernrohres verlegt (Abb. 167).

Man bezeichnet die Libelle als im Spiel befindlich, wenn die Teilbilder, nach Art der Abb. 167, 170, in einer gemeinsamen Kuppe übereinstimmen. Durch diese Art der Libelleneinspielung wird ungefähr doppelte Genauigkeit erreicht, d. h. die Koinzidenzeinstellung einer Libelle mit der Empfindlichkeit 2τ gibt etwa die gleiche Genauigkeit wie die gewöhnliche Einspielung bei Endenbeobachtung einer Libelle mit der Angabe τ.

Im Hinblick darauf, daß sich in der Praxis eine große Zahl von Instrumenten der ursprünglichen Bauart vorfindet, wird ihre Berichtigung aus einem einzigen Standpunkt, mit vier Fernrohrlagen und Okularumsteckung, hier schlagwortartig angegeben.

Die Stehachse richte man mit Hilfe der vorhandenen Dosenlibelle lotrecht; eine Nivellierlatte ist in der Zielweite z von etwa 50 Schritt aufgestellt.

Wir bezeichnen die Umdrehungsachse des Fernrohres mit U, seine Zielachse in den nachfolgend mit I, II benannten Fernrohrlagen mit Z_1 bzw. nach Umsteckung des Okulars vor das Objektiv, d. h. in den Lagen III, IV, aber mit Z_2 und die beiden Spielpunkttangenten der Libelle mit $T_{\text{I, IV}}$, $T_{\text{II, III}}$. Unter der alle mechanischen Erzeugungsfehler berücksichtigenden Annahme kleiner Neigungen dieser Achsen gegeneinander, nämlich

$$T_{\text{I IV}} - T_{\text{II III}} = \vartheta,\ T_{\text{II IV}} - U = \alpha,\ U - Z_1 = \varphi,\ U - Z_2 = \varphi',$$

ergeben sich bei jedesmal sorgfältiger Libelleneinspielung in den einzelnen Fernrohrlagen die folgenden Ablesungen anstatt der richtigen Ablesung R_0 an der Latte.

L a g e I: Okular in Normalstellung, Libelle links,
Ablesung $R_{\text{I}} = R_0 + z\,(-\vartheta - \alpha - \varphi)$.

L a g e II: Okular in Normalstellung, Libelle rechts,
Ablesung $R_{\text{II}} = R_0 + z\,(+\alpha + \varphi)$.

L a g e III: Okular umgesteckt, Libelle links,
Ablesung $R_{\text{III}} = R_0 + z\,(-\alpha - \varphi')$.

L a g e IV: Okular umgesteckt, Libelle rechts,
Ablesung $R_{\text{IV}} = R_0 + z\,(+\vartheta + \alpha + \varphi')$.

Das einfache Mittel sämtlicher vier Ablesungen gibt daher mit R_0 den Sollbetrag der Ablesung für waagrechte Zielung an.

Man beginnt die Prüfung praktisch mit der Lage IV und endet in Lage I, der G e b r a u c h s s t e l l u n g für die spätere praktische Nivellierarbeit.

In dieser Lage wird auf das Mittel R_0 an der Latte mit Hilfe der Höhenfeinschraube eingestellt und das Einspielen der Libelle durch Verschiebung des Prismensystems bewirkt. Hiezu lüftet man vorsichtig den Klemmring der Prismentriebschraube, stellt durch deren Feindrehung die geforderte Koinzidenz der Blasenhälften her und zieht schließlich den Klemmring wieder fest an.

Von diesem ursprünglichen Typus des *Wild-Zeiß*-Nivellierinstrumentes ausgehend, wurden vorerst bei *Zeiß* in Jena und später auch bei *Wild* in Heerbrugg jene Formen moderner Nivellierinstrumente konstruiert, die je nach dem Arbeitszweck und der geforderten Genauigkeit den drei in [26,2] genannten Nivellementgruppen entsprechen, nämlich die Baunivellierinstrumente (Baunivelliere), die Ingenieurnivellierinstrumente (Ingenieurnivelliere) und die Präzisionsnivelliere.

Die bis zum neuesten Entwicklungsstand allmählich eingetretene Abklärung der Anschauungen ist durch das Bestreben gekennzeichnet, alle bewährten und als praktisch wertvoll erkannten Neuerungen möglichst in einem einzigen Grundtypus zu vereinigen und diesen dann nur in seiner optischen und sonstigen Leistungsfähigkeit auf den Arbeitszweck abzustimmen. Auch hinsichtlich der früher als notwendig erachteten Verwendung einer mit dem Fernrohr um dessen Achse drehbaren Doppellibelle ergab sich eine Wandlung zur Vereinfachung dadurch, daß man diese Drehbarkeit insbesondere in der Gruppe der Präzisionsinstrumente aufgab und sie nur in der Gruppe der Ingenieurnivelliere teilweise beibehielt. Der Grund hiefür war die Erkenntnis, daß die verteuernde Drehbarkeit wohl die Möglichkeit zur Prüfung und Berichtigung des Instrumentes aus einem einzigen Standpunkt darbietet aber bei der praktischen Nivellierarbeit verhältnismäßig nur selten benützt wird.

Da man indessen mit der Prüfung aus zwei Standpunkten [26,4] ein bei jedem Nivellierinstrument anwendbares, sehr einfaches und sicher zum Ziel führendes Verfahren besitzt, führt der Verzicht auf die Drehbarkeit des Fernrohres mit der Libelle zu einer sehr erwünschten Vereinfachung und Stabilitätsvermehrung der Gesamtkonstruktion.

In der Verfolgung der hier nur kurz angedeuteten Grundsätze entstanden bei *Zeiß* in Jena die Baunivelliere Ni V und Ni IV, die Ingenieurnivelliere Ni I, Ni II und das Nivelliertachymeter, wobei das Instrument Ni II zum eigentlichen Präzisionsnivellierinstrument Ni III überleitet. Diese ursprünglichen Bezeichnungen sind später, ab etwa 1936, in der angegebenen Reihenfolge durch die Benennungen Ni E, Ni D; Ni C, Ni B; Ni A ersetzt worden.

Die Beachtung der im Zuge der Entwicklung gewonnenen Erfahrungen führte dazu, daß in jeder der drei erwähnten Nivellementgruppen je ein Instrument als ausreichend befunden wurde, wie etwa bei *Wild*, Heerbrugg): Kleines Nivellierinstrument N I, Ingenieurnivellier N II, Präzisionsnivellierinstrument N III, die auf ein Kilometer Nivellierstrecke Genauigkeiten von 5 mm, 2,5 mm und 0,25 mm erreichen lassen.

Die *Kern & Co. A. G.* (Aarau) erzeugt ein Baunivellier NK 1, das Ingenieurnivellier NK 2 für technische Nivellements, das diesem ähnliche jedoch größere Nivellier NK 3 für genauere technische Nivellements und das Präzisionsnivellierinstrument NK 3 — M.

Der gegebene Rahmen erfordert es, die Beschreibung der hier erwähnten Instrumente auf allgemeine Kennzeichen einzuschränken. Wir erörtern sie kurz durch einen Ausblick auf die Nivellierinstrumente von *Zeiß*, bei Außerachtlassung von Zwischenstufen der Entwicklung, wie sie sich im Zuge der serienweisen Erzeugung ergeben haben.

Wie es bereits bemerkt wurde, hat man die dem Grundtypus des *Wild-Zeiß*-Nivellierinstrumentes eigene und durch die Umsteckbarkeit des Okulars entstehende doppelte Zielachse bei allen späteren Instrumenten aufgegeben.

Die Baunivelliere *Zeiß* besitzen ein festes Fokussierfernrohr mit seitlicher Nivellierlibelle und Klappspiegelablesung. Sie werden, so wie unter [26,4] angegeben, aus zwei Standpunkten überprüft und berichtigt.

Für alle anderen Nivellierinstrumente ist die Beobachtung der Libelle durch ein *Wild*sches Prismensystem vorgesehen, und die Erfahrung hat gezeigt, daß die Einspielung der Libelle durch die mehrfach erwähnte Koinzidenz ihrer Blasenenden eine Genauigkeit gewährleistet, die mit etwa $\frac{1}{40}$ der Libellenempfindlichkeit zu veranschlagen ist.

Bei dem für genauere Zwecke bestimmten Instrument B (Abb. 165) aus der Gruppe der Ingenieurnivelliere ist (so wie übrigens auch bei dem *Wild*-Instru-

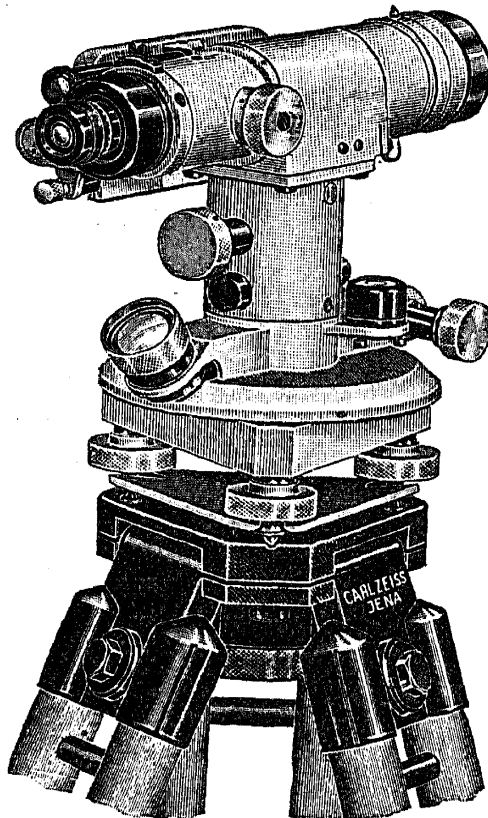



Abb. 165. *(Zeiß.)*

ment N II und dem früheren Nivellier *Kern* II, das durch das neueste NK 3 ersetzt wurde) das Fernrohr um seine Achse drehbar, so daß die Doppellibelle, deren Spielpunkttangenten parallel verlaufen, in linker und rechter Lage verwendet werden kann. Dies ist dann vorteilhaft, wenn von einem Standpunkt aus für stark wechselnde und u. U. sehr lange Zielweiten mehrere oder viele Höhenunterschiede mit größerer Genauigkeit bestimmt werden müssen, denn in diesem Fall gibt das Mittel beider Beobachtungen die einwandfreie Lattenablesung für horizontale Zielung, was wir bereits bei den Überlegungen zur Überprüfung eines durchschlagbaren Fernrohres mit Doppellibelle und parallelen Spielpunkttangenten ([26,4], Zusätzliche Bemerkungen, Abb. 160) feststellten.

Man benützt diesen Umstand auch zur Berichtigung eines solchen Nivellierinstrumentes mit drehbarem Fernrohr und hält dabei den folgenden Vorgang ein.

Nach Überprüfung wie für ein einfaches Nivellierinstrument aus zwei Standpunkten [26,4], wobei die Libelle nur in der Lage links vom Fernrohr verwendet wird, ergibt sich die Sollablesung $R_0 = h + J$ für waagrechte Zielung. Vom gleichen Standpunkt aus beobachtet man nun die Latte in beiden Libellenlagen, d. h. links und rechts vom Fernrohr, jedesmal bei scharfer Einspielung, stellt auf den Mittelwert R_0' der zwei Ablesungen ein und beseitigt den jetzt etwa vorhandenen Libellenausschlag durch Drehung der lotrecht wirkenden Richtschräubchen. Hiedurch ist erreicht, daß die Zielachse zur Winkelhalbierenden beider Spielpunkttangenten parallel liegt.

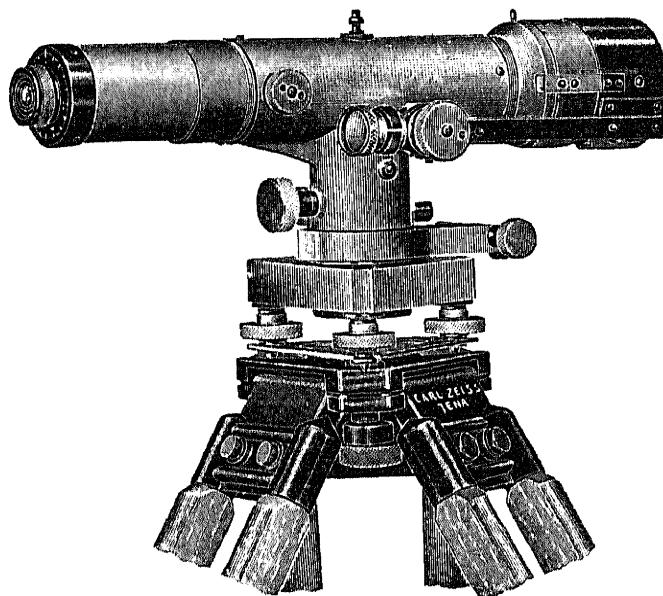



Abb. 166. *(Zeiß.)*

War dieser Mittelwert R_0' gleich der Sollablesung $R_0 = h + J$, so ist die Berichtigung überhaupt beendet, anderenfalls sind noch die Spielpunkttangenten zueinander parallel zu richten, indem man R_0' durch Fernrohrkippung in den Sollwert R_0 verändert und den Träger des *Wild*-Prismas verschiebt, bis die erforderliche Kuppenkoinzidenz der Blasenenden eingetreten ist.

Beim Nivellierinstrument *Zeiß* B (Abb. 165) sind zur Abkürzung dieses Verfahrens zwei rote Spielpunktmarken so angebracht, daß sie im Gesichtsfeld des Libelleneinblickes dann gegenseitig verlängert erscheinen, wenn die Spielpunkttangenten parallel sind.

In der Abbildung ist die in linker Lage befindliche Libelle durch das Fernrohr nahezu verdeckt. Über seinem Okular ist die Lupe für die Libellenbeobachtung und darunter der Drehknopf für den Beleuchtungsspiegel sichtbar. Zur

raschen Lotrechtstellung der Stehachse dient eine Dosenlibelle, neben der man die Klemmung und die Feinschraube für Horizontalbewegung erkennt. Als Ingenieurnivellier wird das Instrument ohne oder mit Horizontalkreis erzeugt. Seine Ablesung erfolgt mit Indexstrich und Lupe nach Art der Abb. 81 durch Schätzung einzelner Bogenminuten.

Das Instrument B kann bei zusätzlicher Ausrüstung mit einem Planplattenmikrometer vor dem Objektiv und Verwendung einer Invarlatte für Feinnivellements benützt werden und leitet damit über zu dem eigentlichen Typus des Präzisionsnivellierinstrumentes *Zeiß* A (Abb. 166).

Die Abbildung zeigt rechts neben dem Vertikalachsenkörper eine geteilte Mikrometertrommel, durch deren Drehung das nach vorne führende Gestänge die im Objektivvorsatz gelagerte Planplatte um eine horizontale Achse kippt. Die Platte ist so dimensioniert, daß der vom Bereich der Trommelteilung bestimmte Kippwinkel den Zielstrahl in vertikaler Richtung um ein ganzes Intervall der Lattenstrichteilung verschiebt.

Der Horizontalfaden des Fadenkreuzes ist in einer Hälfte des Fernrohrgesichtsfeldes als Keilstrich ausgebildet, so daß die in verschiedenen Entfernungen verschieden breit erscheinenden Striche der Lattenteilung immer durch feine seitliche Bewegung des Fernrohres genau zwischen den geneigten Keilfäden einfaßbar sind.

Die zur Ausrüstung gehörigen Latten halten in ihrer Mitte unter gleichmäßiger Spannung ein Invarband mit zwei Präzisionsstrichteilungen ($^1/_2$-cm-Intervalle und randseitige $^1/_2$-dm-Bezifferung), die gegeneinander um ein halbes solches Intervall, die sog. Lattenkonstante, verschoben und außerdem verschieden beziffert sind. Für eine Lattenaufstellung erhält man daher stets zwei voneinander unabhängige Ablesungen, nämlich eine an der linken und eine an der rechten Teilung, die sich um die erwähnte Lattenkonstante unterscheiden müssen[31].

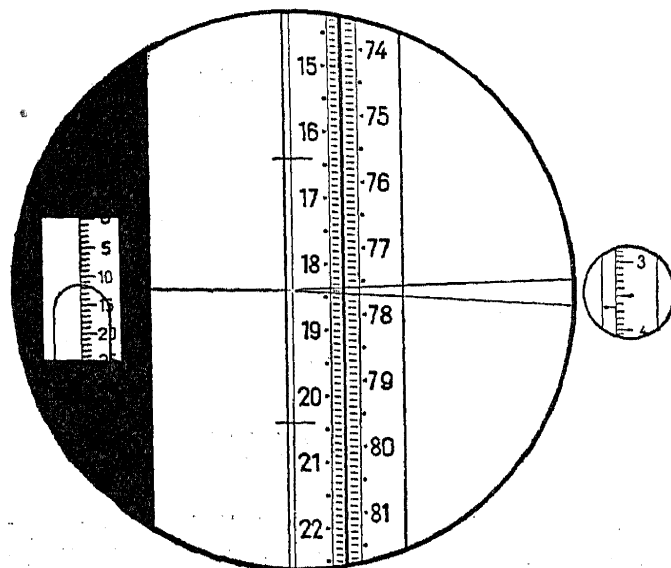



Abb. 167. *(Zeiß.)*

Als Lattenablesung gilt jene Stellung des zu den Keillinien symmetrisch liegenden einfachen Horizontalfadens in den beiden Teilungen, die sich bei scharf einspielender Nivellierlibelle und Normalstellung der Planplatte ergibt. Die sonst übliche Einschätzung des Intervallrestes ersetzt man durch eine genaue Messung, nämlich durch mikrometrische Kippung der Planplatte, bis die Fäden des Keilstriches den tieferen Teilstrich des betreffenden Intervalls einfassen (Abb. 167). Hiedurch wird der Intervallrest als Parallelverschiebung des Zielstrahles ge-

messen, und die Anhängung des Wertes der Mikrometerablesung an den Teilstrichwert erzeugt den Betrag der Gesamtablesung. In der Abbildung erkennen wir die Stricheinstellung 18,4, die Mikrometerablesung 364 und erhalten damit die Gesamtablesung 18,4364, ausgedrückt in der Teilungseinheit $^1/_2$ dm. Im linken Teil des Gesichtsfeldes ist gleichzeitig die Libelle beobachtbar. Bei der letzten Form des Präzisionsnivelliers *Zeiß* A wird mit der Libelle außerdem noch eine Teilung abgebildet, die zur Ablesung eines etwaigen Libellenausschlages dient, wenn man nämlich auf die immerhin zeitraubende scharfe Einspielung der Libelle verzichtet, d. h. mit nichteinspielender Libelle arbeitet, und nachträglich die dem Libellenausschlag entsprechende Zielstrahlneigung rechnerisch berücksichtigt. Dies erfordert natürlich die bei Präzisionsnivellements immer gegebene Kenntnis der Libellenempfindlichkeit τ [18,1] und des meist konstant gehaltenen Betrages der Zielweite z.

Diese Gleichhaltung der Zielweite bei Präzisionsnivellements, und im allgemeinen auch bei Feinnivellements, gewährleistet so vollständig die Unschädlichkeit bzw. den Ausfall des Einflusses einer geringen Zielstrahlneigung, die als Folge eines Fehlerrestes trotz bester Berichtigung vorhanden sein kann, daß die axiale Drehbarkeit des Fernrohres mit der Libelle und die damit verbundene Möglichkeit der Berichtigung aus nur einem Standpunkt aufgegeben wurde. Die modernen Präzisionsnivelliere mit fester Lagerung des Fernrohres sind daher stets aus zwei Standpunkten [26,4] zu prüfen und zu berichtigen.

A Dreifuß,
A_1 Stellschrauben,
A_2 Klemmschraube für Steckhülse,
A_3 nachstellbares Muttergewinde der Stellschraube,
C Anzugschraube mit Lothaken,
F Entlastungsschraube für Abhebung des Fernrohrträgers,
J_1 Berichtigungsschräubchen des Skalenmikroskops,
K_1 Dioptrienring des Okulars,
R Schutzhülse der Richtschräubchen für das Fadenkreuz,
T Tangentenschraube.

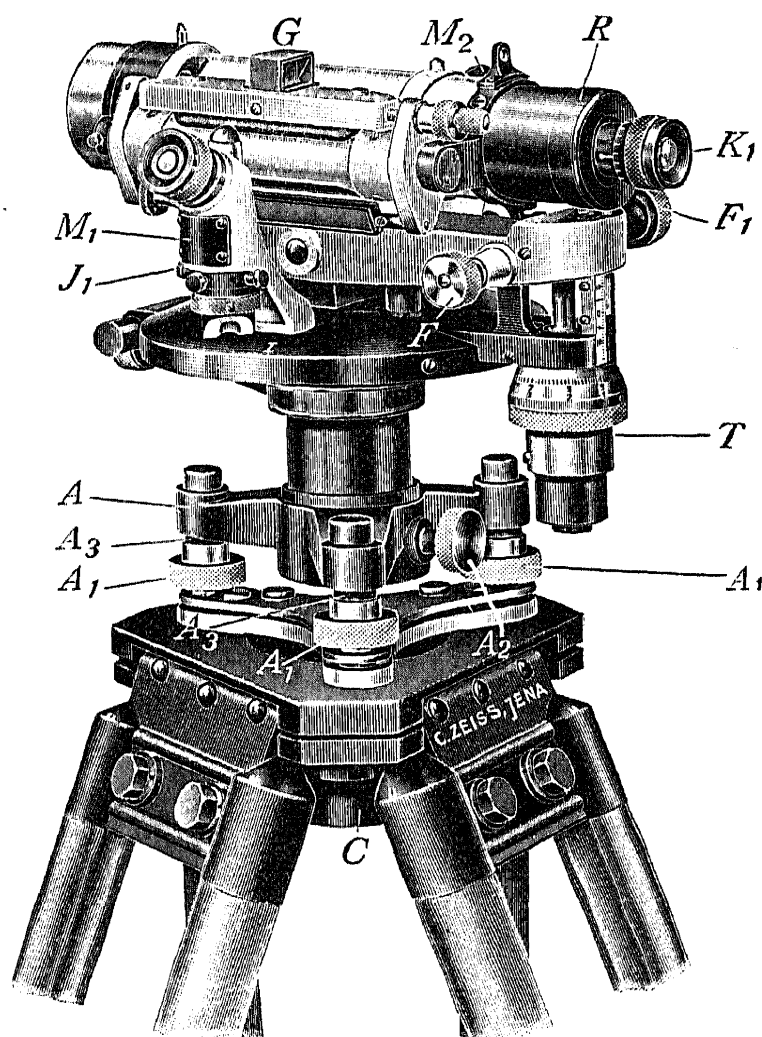



Abb. 168. *(Zeiß.)*

Weitere Einzelheiten, die für eine tiefere Einarbeitung in dieses Sondergebiet des Präzisions- und Feinnivellements unerläßlich sind, wie etwa die Anschreibung der Ablesungen und ihre Überprüfung mit Hilfe der Lattenkonstante, die Arbeit bei nicht einspielender Libelle usw., können in diesem Rahmen nicht ausführlicher dargestellt werden und sind bei Bedarf der einschlägigen Literatur bzw. den Gebrauchsanleitungen der betreffenden Instrumente zu entnehmen[32].

Als Ergänzung dieses kurzen Überblickes zu den Nivellierinstrumenten von *Zeiß* sei schließlich noch auf das früher in der Gruppe der Ingenieurnivelliere erwähnte und in der Abb. 168 dargestellte Nivelliertachymeter von *Zeiß* hingewiesen. Es zeigt als solches noch deutlich die dem ursprünglichen Typus des *Wild-Zeiß*-Nivellierinstrumentes [26,5] eigene Anordnung des *Wild*-Libellenprismas mit dem Einblick G und der gegen den Beobachter weisenden Feintriebschraube für die Bewegung des Prismenkörpers zur Herstellung der Kuppenkoinzidenz beim Abschluß der Berichtigung sowie den etwas größeren Rändelring zur Festklemmung der Triebschraube. Die unter dem Fernrohrokular sichtbare horizontal wirkende Feinkippschraube F_1 des Fernrohrs dient zur Einspielung der Libelle. Eine Tangentenschraube [25,12] ersetzt innerhalb eines Kippungsbereiches von $\pm 15\%$ den Höhenkreis eines Theodolites und ist für die Ermittlung von Höhenunterschieden, für Absteckung von Linien bestimmter Neigung sowie zur Distanzmessung mit vertikaler Basis im Zielpunkt [25,12] benützbar. Am Horizontalkreis sind mit zwei Schätzmikroskopen M_1, M_2 nach Art der Abb. 83 c die Zehntel der Bogenminuten zu schätzen. Das nicht mehr erzeugte Instrument konnte mit den mehrfach erwähnten Zusatzeinrichtungen [20], nämlich Zwangszentrierung zur Präzisionspolygonmessung, Dimeßkeil für Doppelbilddistanzmessung, aufsetzbare Vollkreisbussole usw., sehr allgemein verwendet werden.

Die Form der eingangs genannten Erzeugnisse von *Wild* (Heerbrugg) und der *Kern & Co. A. G.* (Aarau) betrachten wir an Hand einiger weniger Abbildungen.

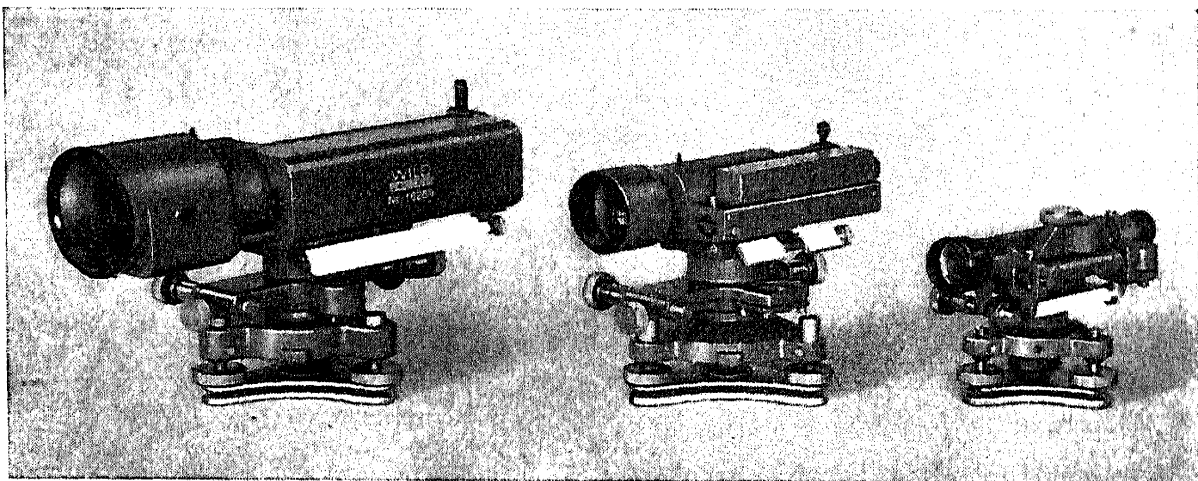



Abb. 169. *(Wild.)*

Die Abb. 169 zeigt einen Größenvergleich des Präzisionsnivellierinstruments *Wild* N III (links), des Nivelliers *Wild* N II (Mitte) und des kleinen Nivellier-

instruments *Wild* N I, die ohne oder mit Horizontalkreis hergestellt werden. Die Längen der Fokussierfernrohre (bzw. ihre Vergrößerungen und Objektivdurchmesser) betragen: bei N III 295 mm (42fach, 50 mm), bei N II 200 mm (24- oder 28fach, 40 mm), bei N I 160 mm (18fach, 25 mm).

Aus dem vollständig abgeschlossenen Körper des Instrumentes *Wild* N III treten die drei getrennten Okulare für Fernrohr, Libellenbeobachtung bzw. Ablesung des Planplattenmikrometers und zeigen dem Beobachter nach Einspielung der Libelle und Einfassung eines Striches der beiden Teilungen auf der Invarlatte den in der Abb. 170 wiedergegebenen Anblick. Der Wert des eingestellten

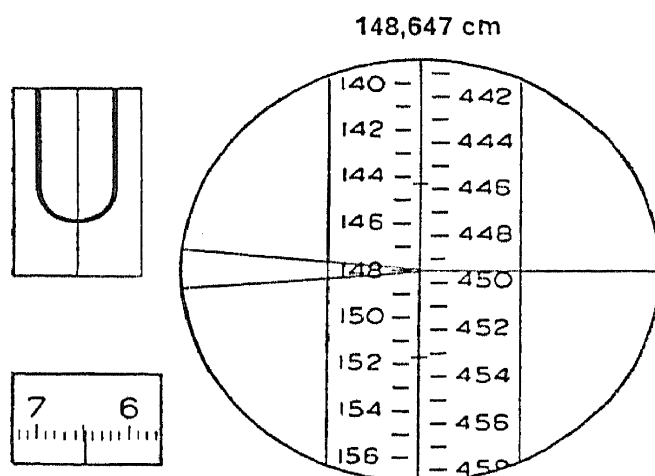



Abb. 170. *(Wild.)*

Teilstriches 148, vermehrt um die Mikrometerablesung 647, ergibt die Gesamtablesung 148,647 cm, da die Teilungen der *Wild*-Invarlatten Z e n t i m e t e r-intervalle aufweisen, von denen alle geraden Zentimeter randseitig beziffert sind.

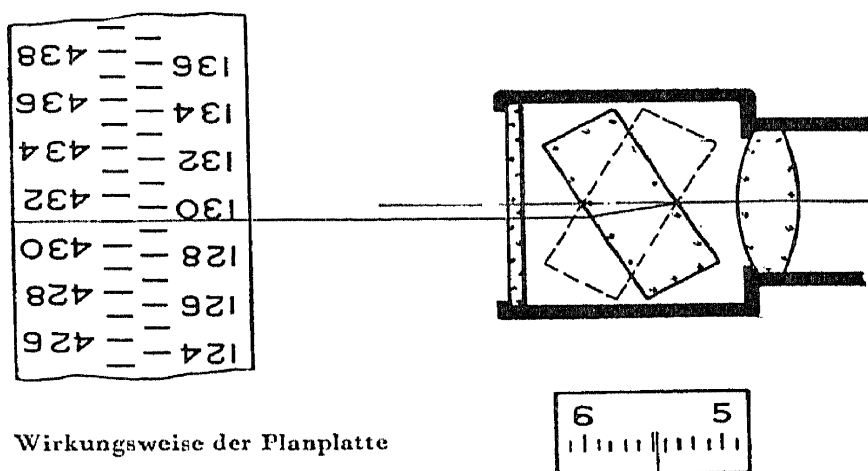



Abb. 171. *(Wild.)*

Die Wirkungsweise der Planplatte ist in der Abb. 171 dargestellt. Verlängert man die nur angedeutete optische Achse bis zur Latte, so findet man die gesuchte Ablesung mit ungefähr 431,5 an der linken und rund 130,0 an der rechten Teilung. Der Rohwert der Lattenkonstante beträgt demnach etwa 301,5.

Durch Kippung der Planplatte, innerhalb des durch die beiden Plattenlagen angezeigten Bereichs, wird der Zielstrahl vor der Platte parallel verschoben und auf den Strich $n_1 = 431$ eingestellt. In dieser Endlage gibt der Indexstrich auf der Teilung des Mikrometers jenen Betrag der Parallelverschiebung $v_1 = 0{,}547$ an, der notwendig war, um den Zielstrahl von dem Ort der gesuchten Lattenablesung L_1 auf den Ort des Teilstriches n_1 zu bringen, so daß $L_1 = n_1 + v_1 = 431{,}547$ cm.

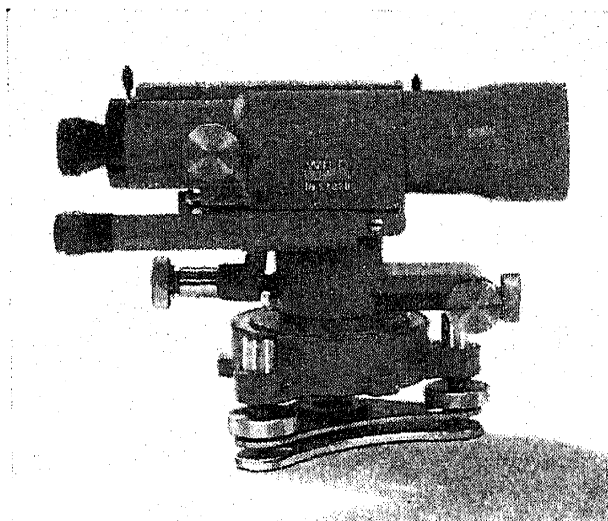



Abb. 172. *(Wild.)*

Nach neuerlicher scharfer Einspielung der Libelle dürfte sich die Ablesung $L_2 = n_2 + v_2$ der anderen Teilung von L_1 nur innerhalb der möglichen Beobachtungsfehler vom genauen Betrag der Lattenkonstante unterscheiden.

Mit der Abb. 172 wird die Ansicht des Instrumentes *Wild* N II mit Horizontalkreis dargeboten, das als einziges der drei Typen ein axial drehbares Fern-

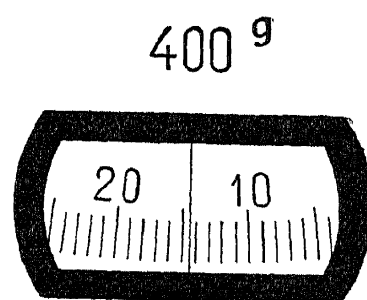
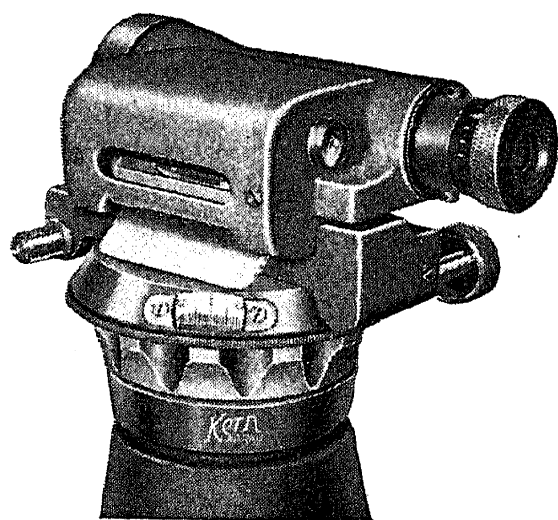



Abb. 173. *(Kern.)*

rohr besitzt und daher aus einem einzigen Standpunkt berichtigt werden kann. Die Ablesung des Glaskreises erfolgt über das neben dem Fernrohr rechts unterhalb liegende Schätzmikroskop bis auf einzelne Bogenminuten. Der Feinkippschraube des Fernrohrs gegenüber ist die Klemme bzw. Feinschraube für Horizontalbewegung sichtbar.

Während die eingangs erwähnten Nivellierinstrumente der *Kern & Co. A. G.* (A a r a u) mit der Typenbezeichnung NK im allgemeinen die bis jetzt genannten Merkmale der modernen Bauart aufweisen, zeigt die Abb. 173 das neueste Nivellierinstrument GK 1—C Nr. 67 in einer von der gebräuchlichen Form stark abweichenden Ausführung. Ein neuartiges G e l e n k k o p f s t a t i v ermöglicht die sehr rasche Horizontierung des Instrumentes mit Hilfe einer Dosenlibelle. Eine Bajonettkupplung stellt die Verbindung zwischen Stativ und Instrument her. Das Fokussierfernrohr besitzt eine 22,5fache Vergrößerung, eine Objektivöffnung von 30 mm und eine kürzeste Zielweite von 0,9 m. Die Einspielgenauigkeit der Libelle beträgt etwa 1″, so daß ein mittlerer Kilometerfehler von 3—4 mm erreicht wird. Der Horizontalkreis ist mit einem Indexstrich auf Zehntelgrade ablesbar.

Die durch den Rahmen dieses Buches gegebene Beschränkung verhindert es, weitere Einzelheiten aus der Fülle der erwähnenswerten zu behandeln. Erst ihre Gesamtheit könnte ein abgerundetes Bild von der hohen Vollkommenheit bringen, die mit den vorliegenden Konstruktionen moderner Nivellierinstrumente erreicht worden ist.

27 Trigonometrische Höhenunterschiedsbestimmung

Im Verlaufe der Erörterungen zu [25] haben wir bereits mehrmals den Höhenunterschied H' zwischen der Kippachse des Instrumentes und einem Zielpunkt, der in der Horizontalentfernung D unter dem Höhenwinkel β oder der Zenitdistanz $z = 90 - \beta$ erscheint, auf trigonometrischem Weg mit der Formel $H' = D \operatorname{tg} \beta = D \operatorname{ct} z$ berechnet. Der Höhenunterschied H der entsprechenden Bodenpunkte ergab sich aus $H = H' + J - Z$, wo J bzw. Z die Instrument- bzw. Zielhöhe bedeuten.

Bei größerer Entfernung D ist indessen noch der Einfluß der E r d k r ü m m u n g bzw. die K r ü m m u n g des Z i e l s t r a h l e s zu berücksichtigen, die dieser zufolge seiner Brechung bei der Durchdringung verschieden dichter Luftschichten erfährt[33], sowie die u. U. wegen Lotabweichung erforderliche Reduktion der beobachteten Zenitdistanz[34].

27,1 Grundlagen und Ergebnisse

Zu der Annahme einer lokalen Schmiegungskugel vom Radius $R = \sqrt{MN}$ für die Erdgestalt [1] fügen wir noch die Voraussetzung, der Kreisbogen D_0 (Abb. 174) zwischen den Projektionen der Punkte A und E auf den Meereshorizont sei so klein, daß der Unterschied gegen die zugehörige Sehne σ_0 vernachlässigbar ist. Zur Abschätzung dieser Größe und als Ergänzung zu den Angaben von [1] hinsichtlich der

Differenz zwischen Bogen- und Tangentenlänge für Punkte der Erdoberfläche wird erwähnt, daß sich ergibt $D_o - \sigma_o \doteq \frac{D_o^3}{24 R^2}$, nämlich $D_o - \sigma_o \doteq 1$ mm bzw. $\doteq 1$ cm für $D_o \doteq 10$ km bzw. $D_o \doteq 22$ km.

Aus der Abb. 174 liest man die folgenden Beziehungen ab:

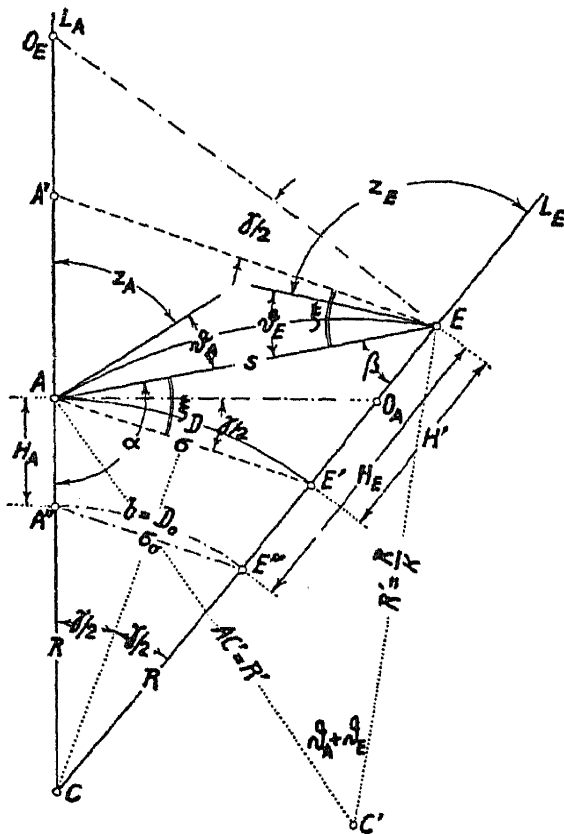



Abb. 174.

1. Im Punkt A: $\alpha = 180^0 - (z_A + \vartheta_A)$,

$$z_A = 90^0 + \frac{\gamma}{2} - \zeta - \vartheta_A.$$

2. Im Punkt E: $\beta = 180^0 - (z_E + \vartheta_E)$,

$$z_E = 90^0 + \frac{\gamma}{2} + \zeta - \vartheta_E.$$

3. Im Dreieck $A\,E\,C$:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{R + H_E}{R + H_A},$$

$$\frac{\sin\alpha - \sin\beta}{\sin\alpha + \sin\beta} = \frac{H_E - H_A}{2\,R + H_A + H_E}.$$

Mit $\alpha + \beta + \gamma = 180^0$ bzw. $H_E - H_A = H'$ und der mittleren Seehöhe $H_m = \frac{H_A + H_E}{2}$ der beiden Punkte entsteht hieraus die Grundformel für den trigonometrisch bestimmten Höhenunterschied H', nämlich

$$H' = 2\,R\left(1 + \frac{H_m}{R}\right) \operatorname{tg}\frac{\alpha - \beta}{2} \operatorname{tg}\frac{\gamma}{2}.$$

Beschränkt man sich auf solche Entfernungen $\sigma_o \doteq D_o$, zu denen in der Formel $\sigma_o = 2\,R \sin\frac{\gamma}{2}$ (Dreieck $A''\,E''\,C$) noch gesetzt werden darf $\sin\frac{\gamma}{2} \doteq \operatorname{tg}\frac{\gamma}{2} = \frac{\sigma_o}{2\,R}$, was für $\sigma_o \doteq D_o < 10$ km mit dem zugehörigen Betrag $\frac{\gamma}{2} \doteq 160''$ zutrifft, dann ergibt sich

$$H' = D_o\left(1 + \frac{H_m}{R}\right) \operatorname{tg}\frac{\alpha - \beta}{2}.$$

Je nach der Art, in der die Winkel α bzw. β unter Zuhilfenahme von Hypothesen über die Krümmung des Zielstrahles aus den in A bzw. E meßbaren Zenitdistanzen z_A bzw. z_E berechnet werden, ergeben sich die beiden nachstehenden Möglichkeiten.

A. Beidseitige und gleichzeitige Beobachtung der Zielstrahlneigung.

Mit der Annahme einer kreisförmigen Bahn des Lichtstrahles und der daraus folgenden Gleichheit der Refraktionswinkel $\vartheta_A = \vartheta_E$ erhält man aus 1. und 2. $\alpha - \beta = z_E - z_A$ und daher

$$H' = D_o \left(1 + \frac{H_m}{R}\right) \operatorname{tg} \frac{z_E - z_A}{2}.$$

B. Einseitige Beobachtung der Zielstrahlneigung.

In diesem praktisch am häufigsten auftretenden Fall wählen wir einen Schmiegungskreis vom Radius R' als Ersatz für die Bahn des Zielstrahles und beziehen ihn durch die Annahme $R' = \frac{R}{k}$ auf den mittleren Erdradius R. Der Refraktionskoeffizient $k \doteq \doteq 0{,}13$ wurde aus zahlreichen Beobachtungen mit diesem Durchschnittswert abgeleitet und unterliegt in gemäßigten Klimazonen meteorologisch bedingten Schwankungen von bis zu etwa 20% seines Betrages.

Den entsprechenden Refraktionswinkel $\vartheta = \vartheta_A = \vartheta_E$ findet man aus Abb. 174 durch Vergleich der Zentriwinkel γ in C bzw. $\vartheta_A + \vartheta_E = = 2\,\vartheta$ in C', und die ablesbaren Beziehungen $\sin \frac{\gamma}{2} = \frac{\sigma_o}{2\,R} \doteq \frac{\gamma}{2}$ bzw. $\sin \vartheta = \frac{s}{2\,R'} \doteq \vartheta$ führen mit der hier zulässigen Näherung $s \doteq \sigma_o$ sowie $R = k \cdot R'$ zum Ergebnis $\vartheta \doteq \frac{\gamma}{2}\,k$.

Wurde z. B. in A die Zenitdistanz $z_A = z$ beobachtet, so erhalten wir aus

$$z_A = z = 90^0 + \frac{\gamma}{2} - \zeta - \frac{\gamma}{2}\,k \text{ und mit } \frac{\gamma}{2} \doteq \frac{\sigma_o}{2\,R}$$

die Zenitdistanz

$$z = 90^0 - \zeta + \frac{\sigma_o}{2\,R}\,(1 - k).$$

Setzt man nun noch $\frac{1-k}{2\,R} = q$, so ergibt sich der zur Auflösung des Dreieckes $A\,E'\,E$ notwendige Winkel ζ, nämlich

$$\zeta = 90^0 - (z - q\,\sigma_0).$$

Wegen der relativen Kleinheit der irdischen Höhenunterschiede H' gegen die Horizontaldistanz $AE' = D \doteq \sigma$, darf dieses Dreieck auch wie ein bei E' rechtwinkliges berechnet werden, so daß

$$H' = \sigma \operatorname{tg} \zeta = \sigma \operatorname{ct} (z - q\,\sigma_0).$$

Durch trigonometrische oder Reihenentwicklung des Klammerausdruckes unter Beachtung der Kleinheit von $q\,\sigma_0$ entsteht

$$\mathrm{ct}\,(z - q\,\sigma_0) \doteq \mathrm{ct}\,z + q\,\sigma_0 \quad \text{und damit } H' = \sigma\,\mathrm{ct}\,z + \sigma\,\sigma_0\,q.$$

Führen wir nun noch im ersten Glied ein $\sigma : \sigma_0 = (R + H_A) : R$ bzw. im zweiten Glied hinreichend genau $\sigma \doteq \sigma_0$, so ergibt sich

$$H' = \sigma_0 \left(1 + \frac{H_A}{R}\right) \mathrm{ct}\,z + q\,\sigma_0^2.$$

Im Hinblick auf die eingangs angegebenen Werte der Differenz $D_0 - \sigma_0$ dürfen wir schließlich für praktische Rechnung setzen

$$H' = D_0 \left(1 + \frac{H_A}{R}\right) \mathrm{ct}\,z + q\,D_0^2$$

oder auch

$$H' = D\,\mathrm{ct}\,z + q\,D^2 = D\,\mathrm{ct}\,z + T.$$

Der Betrag $T = q\,D^2$ stellt die Senkung des tatsächlichen Horizontes durch den Gesamteinfluß der Erdkrümmung und Strahlenbrechung dar, und D ist entsprechend Abb. 174 die Entfernung der Punkte A, E im Horizont von A.

Es ist sehr zu beachten, daß man aus gegebenen Koordinaten der Punkte A, E durch Lösung der ersten Hauptaufgabe [II 3] nicht die Strecke D_0 erhält, sondern eine verzerrte Strecke L, die erst durch Anbringung der Entfernungsreduktion $L \cdot \delta_L$ übergeht in $D_0 = L - L \cdot \delta_L$ [23]. Hieraus entsteht durch Zugabe der Seehöhenreduktion $D_0 \cdot \delta_H$ [23] die zur Einsetzung in die obige Formel erforderliche Distanz $D = D_0 + D_0 \cdot \delta_H$, wobei $\delta_H = \frac{H_A}{R}$.

Der Koeffizient q der Verbesserung T wegen Erdkrümmung und Refraktion nimmt bei Einführung des Durchschnittswertes für den Refraktionskoeffizienten, nämlich $k \doteq 0{,}13$ sowie $R \doteq 6370$ km, den Wert $q = 6{,}83 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{km}^{-1}$ an. Wird in $T = q\,D^2$ die Entfernung D in km ausgedrückt, so ergibt sich die Dimension von T mit

$$(10^{-5}\,\mathrm{km}^{-1}) \cdot \mathrm{km}^2 = \mathrm{cm} \text{ oder } T = 6{,}83\,\mathrm{cm} \cdot (D_{\mathrm{km}})^2.$$

Für viele Näherungszwecke reicht es auch aus, die Senkung des tatsächlichen Horizontes in Metern aus der Formel $T_{(\mathrm{m})} = \frac{1}{15}(D_{\mathrm{km}})^2$ zu berechnen[35].

Da für $D = 380$ m bzw. $D = 270$ m die zugehörige Verbesserung den Betrag 1 cm bzw. 5 mm erreicht[36], darf bei kleineren Entfernungen D mit der einfachen Formel $H' = D\,\mathrm{ct}\,z$ gerechnet werden, falls man auf eine höhere als die angegebene Genauigkeit verzichtet.

Zusätzliche Bemerkungen

Zur Berechnung des Höhenunterschiedes $H = H' + J - Z$ der Bodenpunkte, d. h. der Pflock- bzw. Steinoberfläche, muß im Zielpunkt die Zielhöhe Z bekannt sein, und im Standpunkt ist stets die Instrumentenhöhe J zu messen [21,3].

Die Bestimmung von Turmhöhen wird, ähnlich wie dies bei der trigonometrischen Ablotung von Hochpunkten oder bei Hochstandzentrierungen [20,5] [II 8] der Fall ist, aus den Endpunkten einer oder auch mehrerer Basislinien durchgeführt, die in geeignetem Abstand vom Turm zu wählen sind. Die Höhenunterschiede der Basisendpunkte sind entweder trigonometrisch oder durch Nivellement zu ermitteln und auf einen Bezugspunkt am Turmfuß zu übertragen.

Im Bedarfsfall kann man den lokalen Wert des Refraktionskoeffizienten k oder des Faktors q durch gleichzeitige und gegenseitige Beobachtung der Zenitdistanzen z_A, z_E in zwei Punkten A, E bestimmen. Hiezu müssen die beobachteten Ergebnisse z_A, z_E streng auf dieselben Punkte, am besten auf die Bodenpunkte, reduziert werden, was mit den bekannten Instrument- bzw. Zielhöhen sinngemäß und ähnlich durchzuführen ist wie die Zentrierung von Richtungsbeobachtungen auf exzentrischen Standpunkten [20,5].

Ist dies geschehen, dann verknüpft man die eingangs aufgestellten Beziehungen, nämlich

$$z_A = 90^0 + \frac{\gamma}{2} - \zeta - \vartheta_A, \qquad z_E = 90^0 + \frac{\gamma}{2} + \zeta - \vartheta_E,$$

mit der Annahme $\vartheta_A = \vartheta_E = \vartheta = \frac{\gamma}{2} \cdot k$ zu

$$z_A + z_E = 180^0 + \gamma (1 - k) \text{ und erhält mit } \gamma \doteq \frac{D_0}{R}$$

den Wert

$$q = \frac{1-k}{2R} = \frac{z_A + z_E - 180^0}{2D_0}.$$

Auch die Ergebnisse einseitiger Messungen sind zur Ermittlung von q benutzbar[37], wenn die trigonometrisch berechneten Höhenunterschiede u. U. auch auf nivellitischem Wege bekannt werden. Differenzen zwischen einseitigen, aber hin und zurück erfolgten Bestimmungen der gleichen Höhenunterschiede sind wohl meist durch unvermeidliche Beobachtungsfehler bewirkt, aber bei merkbar systematischem Auftreten zur Verbesserung des bisher angenommenen Wertes von q verwendbar.

27,2 Sichtweite und Sichtbarkeit

Die mögliche Sichtweite S von einem Punkt P in der Seehöhe H' nach der Meeresoberfläche erhalten wir aus der Bedingung, daß der Zielstrahl die Meeresoberfläche im Punkt A mit $z_A = 90^0$ berührt (Abb. 175).

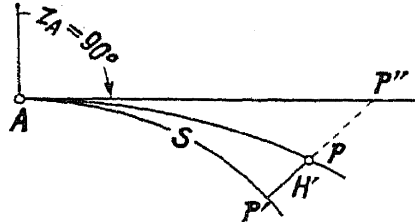



Abb. 175.

Bei sinngemäßer Anwendung der Formel für einen einseitig beobachteten Höhenunterschied $H' = S \operatorname{ct} 90^0 + q\,S^2 = q\,S^2$ entsteht

$$S = \sqrt{\frac{1}{q}}\,\sqrt{H'} = p\,\sqrt{H'}.$$

Wird S und H' in Kilometern bzw. Metern ausgedrückt, dann finden wir

$$S_{(km)} \doteq 121\,\sqrt{H'_{(km)}} \text{ bzw. } S_{(m)} \doteq 3827\,\sqrt{H'_{(m)}}.$$

Sichtbarkeit zwischen zwei Punkten mit den Seehöhen H_1', H_2', über freies Meer hinweg, ist dann gerade noch gegeben, wenn die Sichtlinie die Meeresoberfläche tangiert. In diesem Fall gilt:

$$S_1 = p\,\sqrt{H_1'},\; S_2 = p\,\sqrt{H_2'},\; S = S_1 + S_2 = p\,(\sqrt{H_1'} + \sqrt{H_2'}),$$

und der nicht unterschreitbare Grenzwert für die Seehöhe H_2' des gerade noch sichtbaren Punktes beträgt

$$\sqrt{H_2'} = \frac{S}{p} - \sqrt{H_1'}.$$

Die Sichtbarkeit in Profilen (z. B. zur Bestimmung der Beobachtungsmöglichkeit von Seiten eines Dreiecksnetzes) wird man vorerst immer an Hand von Karten, u. zw. mit geradlinigen Sichten, überprüfen. Bei solcherart festgestellter nur knapper Sichtbarkeit fällt die Entscheidung rechnerisch unter Berücksichtigung des vereinigten Einflusses der Erdkrümmung und der normalen Refraktion[38].

Die E r d k r ü m m u n g allein bewirkt, daß ein Fernpunkt P' (Abb. 175) im Abstand $S_{(km)}$ um den Betrag

$$\overline{P'P''} = \frac{1}{2R}\,S^2_{(km)} = (K\,S^2_{(km)})_{(m)} = 0{,}0785 \text{ Meter} \cdot S^2_{(km)}$$

unter dem geometrischen Horizont AP'' des Standpunktes liegt, nämlich

S	2	5	10	20	50	100 km
$(K S^2)$	0,3	2,0	7,9	31,4	196	785 m.

Zufolge der normalen Strahlenbrechung ($k = 0{,}13$) tritt eine Senkung des geometrischen Horizontes AP'', d. h. der Tangentialebene an die Kugel im Standpunkt A', in den tatsächlichen oder physikalischen Horizont AP ein, im Ausmaß von

$$\overline{P P''} = k \cdot K S^2_{(km)} \text{ Meter,}$$

nämlich

S	2	5	10	20	50	100 km,
$(k \cdot K \cdot S^2)$	(0,04)	0,3	1,0	4,1	25	102 m.

Die sinngemäße Vereinigung beider Einflüsse entspricht dem vorigen Ergebnis $H'_{(cm)} = q\, S^2_{(km)} = \overline{P'P}$. Für den Fall, als der Bodenpunkt P' mit A in gleicher Seehöhe liegt, ergibt sich daher der Schluß, daß zur Sichtbarmachung von P' Signalhöhen H' oder überhaupt Höhenunterschiede mit mindestens folgenden Beträgen notwendig sind.

S	2	5	10	20	50	100 km,
Signalhöhen	0,3	1,7	6,9	27,2	(171)	(683) m.

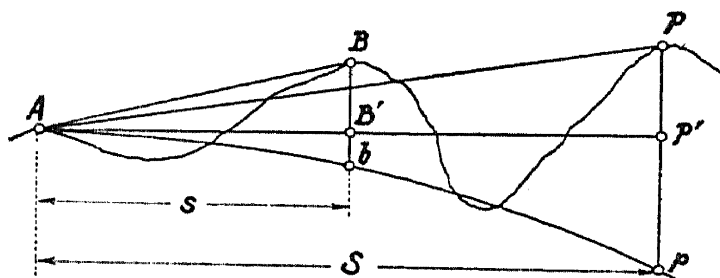



Abb. 176.

Zur Feststellung der Sichtbarkeit in Profilen (Abb. 176) wird man auch schon bei nur zeichnerischer Ausarbeitung die bezüglich des Standpunktes A vorhandenen Höhenunterschiede in passender Überhöhung nicht von dem geometrischen Horizont $AB'P'$ aus abtragen. sondern von dem entsprechenden Punkt des gesenkten Horizontes $A\,b\,p$, wobei die Ordinaten $P'p$ der Depressionskurve mit der weiter vorne genannten Näherungsformel $\overline{P'p} = T_{(m)} \doteq \frac{1}{15} S^2_{(km)}$ bestimmt werden.

In zweifelhaften Fällen ergibt sich ein sicheres Urteil über die Sichtbarkeit durch den Vergleich der um den Einfluß der Horizont-

senkung verbesserten und etwa in Promille ausgedrückten Zielstrahlneigungen n, nämlich[39]

$$n_{AB} = \frac{h'_{(m)}}{s_{(km)}} - \frac{1}{15} s_{(km)}, \quad n_{AP} = \frac{H'_{(m)}}{S_{(km)}} - \frac{1}{15} S_{(km)}.$$

Im Hinblick auf den in [27,1] erwähnten etwa 20%igen Schwankungsbereich des Durchschnittswertes $k = 0{,}13$ kann es möglich sein, daß bei festgestellter knapper Sichtbarkeit, aber geringerer als normaler Brechung, Punkte unsichtbar werden, die zu anderen Tageszeiten — bei erhöhter Refraktion — noch zu sehen sind. Wie bereits in [21,3] bemerkt wurde, ist die Ruhe der Bilder am Morgen und Abend eine Folge der ausgeprägteren Schichtung der Atmosphäre und im allgemeinen abnormaler Lichtbrechung. Mit dem um die Mittagszeit vermehrten Bildflimmern, als Zeichen der erhöhten Austauschbewegung der Luft, sind Refraktionsverhältnisse verbunden, denen der Normalwert $k = 0{,}13$ des Brechungskoeffizienten am ehesten entspricht.

Die Untersuchung der Fehlerfortpflanzung [II 15] für trigonometrische Höhenunterschiedsbestimmungen ergibt, daß bei normaler Refraktion, einem Fehler $m_z = \pm 5''$ der einseitig beobachteten Zenitdistanz z und einem relativen Distanzfehler $r_D = \pm 5 \cdot 10^{-5}$ für Entfernungen bis etwa $D = 5$ km die Höhenfehler $M_{H'}$ proportional mit der Entfernung wachsen und durch die Formel $M_{H'} = \pm 2{,}7 \cdot 10^{-5} D$ darstellbar sind. Wird hier D in km ausgedrückt, so erhält man wegen 10^{-5} km $= 1$ cm den Höhenfehler $M_{H'}$ in Zentimetern.

Die zusätzlich verfälschende Wirkung einer u. U. vorhanden gewesenen abnormalen Refraktion ist in obigem Betrag nicht berücksichtigt.

28 Tachymetrische Höhenbestimmung[39a]

Bei der Behandlung der Tachymeter in [25,2] haben wir aus der optisch gemessenen Schrägentfernung (Abb. 132) $S = s + c$ bzw. ihrer beobachteten Neigung β einerseits die Horizontaldistanz $D = S \cos \beta$ und andererseits den Höhenunterschied H' mit der hier geltenden einfachen Formel $H' = D \operatorname{tg} \beta$ abgeleitet. Durch Einführung von Instrumentalkonstanten sowie des Lattenabschnittes L ergab sich dann die Distanz D und der tachymetrisch bestimmte Höhenunterschied H' als eine Funktion der Konstanten bzw. von L und β[40].

Diese Funktionen werden, je nach der erforderlichen Genauigkeit, entweder rechnerisch oder auch mit Hilfe von geeigneten Rechenschiebern ausgewertet. Zur Bestimmung des Höhenunterschiedes H der

Bodenzeichen benützen wir schließlich die Formel $H = H' + J - Z$, wo J die Instrumentenhöhe und Z die Zielhöhe darstellt.

Diese abschließende Rechnung ist vermeidbar, wenn die Einstellung Z des Nullfadens, d. i. jenes Fadens, der die Neigung β bestimmt, gleich der Instrumentenhöhe J gewählt wird, so daß sich, zufolge $J - Z = O$, ergibt $H = H'$.

Man wird indessen hierauf weniger Wert legen als überhaupt auf die grundsätzliche Bestrebung, von einem Standpunkt aus und insbesondere bei sehr vielen Zielen, immer nur den gleichen, u. zw. runden Wert Z einzustellen. Da bei allen praktischen Aufgaben der tachymetrischen Höhenmessung nicht die Höhenunterschiede selbst gefragt sind, sondern die Höhenkoten K_i der eingemessenen Punkte, ergeben sich diese selbst aus der Beziehung

$$K_i = K_A + H_i' + (J - Z) = K_A' + H_i'.$$

Durch die einmalige Addition der mit obiger Maßnahme konstant gehaltenen Korrektion $(J - Z)$ zur gegebenen Kote K_A des Standpunktpflockes erhalten wir den Festwert $K_A' = K_A + (J - Z)$, aus dem bei Hinzugabe der berechneten H_i' unmittelbar die geforderten Punktkoten entstehen.

Da die Funktion $\cos\beta$ im Bereich der praktisch vorkommenden kleinen Neigungen β nur wenig empfindlich ist, erkennt man leicht, daß für die Zwecke der Distanzreduktion allein, eine verhältnismäßig grobe Kenntnis der Neigung ausreicht. Sind aber nicht nur Entfernungen, sondern auch Höhenunterschiede tachymetrisch zu bestimmen, dann müssen die Höhenwinkel β so genau als möglich gemessen werden.

Eine Untersuchung der Fehlerfortpflanzung in den Formeln $D = S\cos\beta$ bzw. $H' = D\,\mathrm{tg}\,\beta$ führt mit [II 15] zu den Ergebnissen

$$m_D^2 = m_S^2 \cos^2\beta + (S\sin\beta)^2\, m_\beta^2, \quad m_{H'}^2 = m_D^2\,\mathrm{tg}^2\,\beta + \frac{D^2}{\cos^2\beta}\, m_\beta^2,$$

wo m_i den mittleren Fehler der als Index stehenden Größe darstellt. Fordern wir, daß der aus dem Fehler m_β des Höhenwinkels folgende Fehleranteil den der Distanz S oder D nicht überschreite, so entstehen die Bedingungen

$$\text{für Distanzbestimmung} \quad m_\beta'' = r_S\, \varrho''\, \mathrm{ct}\,\beta,$$
$$\text{für Höhenbestimmung} \quad m_\beta'' = r_D\, \varrho''\, \sin\beta,$$

wo $r_S = \frac{m_S}{S}$ bzw. $r_D = \frac{m_D}{D}$ die relativen Fehler von S bzw. D bedeuten.

Trifft man z. B. die für präzisionstachymetrische Distanz- bzw. Höhenmessung geltende Annahme $r_D \doteq r_S = 2 \cdot 10^{-4}$, so erhalten wir

aus vorigen Bedingungen $m_\beta'' \doteq 40'' \operatorname{ct} \beta$ bzw. $m_\beta'' \doteq 40'' \sin \beta$ und damit die nachfolgend zusammengestellten zulässigen Fehler für die Messung der Höhenwinkel.

Distanzbestimmung

β	$m_\beta'' \doteq 40'' \operatorname{ct} \beta$
5°	7′ 36″
10°	3′ 48″
15°	2′ 28″
20°	1′ 48″

Höhenbestimmung

β	$m_\beta'' \doteq 40'' \sin \beta$
5°	3,5″
10°	7,0″
15°	10,4″
20°	13,7″

Da ähnliche Verhältnisse auch bei der Fehlerfortpflanzung für gewöhnliche Tachymetrie mit Fadendistanzmessern [II 15, Beispiel] gelten, erkennen wir die folgende Tatsache.

Die in der Praxis meist übliche Ablesung aller Höhenwinkel mit gleichbleibender, nämlich mit der am betreffenden Höhenkreis erreichbaren Genauigkeit, ist selbst bei Präzisionstachymetrie dann unnotwendig und unzweckmäßig, wenn es sich allein um Distanzmessung handelt.

Für zusätzlich geforderte tachymetrische Bestimmung von Höhenunterschieden muß aber die überhaupt vorhandene Ablesungsgenauigkeit, insbesondere bei nur geringen Neigungen, voll und sorgfältig ausgenützt werden. Vor allem bei präzisionstachymetrischer Höhenmessung in nur einer Fernrohrlage ist der Indexfehler des Höhenkreises [21,2] stets zu berücksichtigen.

Die weiter oben angegebene Formel für $m_{H'}^2$ läßt erkennen, daß ein Distanzfehler m_D den tachymetrisch ermittelten Höhenunterschied bei geringer Neigung β wohl nur sehr wenig beeinflußt. Die dann aber erforderliche besonders hohe Genauigkeit der Höhenwinkelbestimmung führt zur Bestrebung, bei solchen flachen Zielungen die tachymetrische Messung möglichst durch Nivellement zu ersetzen.

Die tachymetrische Höhenmessung wird in großem Ausmaß bei der Geländeaufnahme für die Herstellung von Schichtenplänen angewendet[41]. Ob nun die Aufnahme in einem meist nicht über 150 m breiten Geländestreifen zu beiden Seiten eines Projektpolygones für Straßen-, Bahn- oder Wasserbauarbeiten erfolgt oder flächenhaft, wie etwa für Meliorations- oder Siedlungsbauprojekte, stets richtet sie sich in Anlage und Durchführung nach den Grundsätzen, die bei der Darstellung der nivellitischen Geländeaufnahme (Flächennivellement) [26,1 c] angegeben worden sind.

Von wesentlichem Vorteil ist die gleichzeitige Erledigung der Horizontal- und Höhenaufnahme in einem Standpunktbereich, der sich,

je nach der angestrebten Genauigkeit, bis etwa 150 m erstrecken kann. Soweit und sooft es die Geländeverhältnisse gestatten, wird man, wie weiter vorne begründet, mit waagrechter Zielung arbeiten, wegen der dann gegebenen Einfachheit der tachymetrischen Distanzformel und der bei Nivellement genauesten Höhenbestimmung.

29 Barometrische Höhenmessung

Die Physik bzw. Meteorologie vermittelt die Grundlagen für den gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen der mit jeder Höhenzunahme H verbundenen Abnahme des Luftdruckes B bei ruhender und in stabilem Gleichgewichtszustand befindlicher Atmosphäre[42]. Unter Berücksichtigung entsprechender Durchschnittswerte der Luftdichte, Luftfeuchtigkeit, Seehöhe, Schwerkraftbeschleunigung usw. ergeben sich für den Bereich von Mitteleuropa aus den physikalisch-theoretischen Beziehungen die beiden folgenden Gebrauchsformeln für praktische Zwecke[43]:

$$H = 18\,464\,(1 + \alpha\, t) \log \frac{B}{B'}, \quad H = 16\,037\,(1 + \alpha\, t)\,\frac{B - B'}{B + B'}.$$

Die Werte B bzw. B' stellen den im tieferen bzw. höheren Standpunkt beobachteten Luftdruck in Millimetern dar, t ist das Mittel der in den Standpunkten mit einem Schleuderthermometer gemessenen Lufttemperaturen und $\alpha = 0{,}003\,665 \doteq \frac{1}{273}$ stellt den Spannungs- bzw. Ausdehnungskoeffizienten eines idealen Gases dar.

Zur Luftdruckmessung für die Zwecke der Höhenbestimmung benützt man in der Praxis meist nicht Quecksilberbarometer, sondern wohl ausschließlich Dosenbarometer (Aneroide)[44].

Für jedes zu Meßzwecken taugliche Aneroid muß die sogenannte Aneroidgleichung bestimmt werden, durch Vergleich der Aneroidangaben mit einem Quecksilberbarometer in einem möglichst langen Zeitraum bei Extremwerten von Luftdruck und Lufttemperatur. Da die Spanne der natürlichen Variation dieser Größen beträchtlich kleiner ist, als die im späteren Verwendungsbereich zu erwartende Variation, wird die Aneroidgleichung auch oft aus Laboratoriumsbeobachtungen innerhalb der notwendigen Grenzwerte bestimmt.

In der Aneroidgleichung: $B = A + a + \beta \cdot \tau + \gamma \cdot (A - 760)$ bedeutet: A die Ablesung (in Millimetern), a die Standkorrektur, β den Temperaturkoeffizienten, τ die Temperaturablesung am Thermometer des Aneroids ($\beta \cdot \tau$ = Temperaturverbesserung), γ den Teilungskoeffizienten und $\gamma\,(A - 760)$ die Teilungsverbesserung.

Die Ermittlung der drei Unbekannten α, β, γ wird entweder graphisch für die Extremwerte des Vergleiches ausgeführt bzw. rechnerisch durch geeignete Kombination von möglichst verschiedenen Bezugswerten oder durch Ausgleichung nach vermittelten Beobachtungen [II 20][45].

Alle zur Auswertung der Höhenformeln notwendigen Angaben gewinnt man durch den folgenden schlagwortartig bezeichneten Meßvorgang.

1. Aneroid beschattet auflegen, Glasdeckel zur Überwindung der Trägheit des Zeigers leicht mit Finger beklopfen, Ablesung A' mit Schätzung der Zehntelmillimeter, Ablesung τ des Aneroidinnenthermometers.
2. Nach etwa 2^m dauernder Kreisschwingung des Schleuderthermometers: Ablesung t_1 der Lufttemperatur.
3. Wiederholung der Aneroidablesung A'' und der für die Innentemperatur τ''.
4. Ausrechnung von $A = \frac{A' + A''}{2}$ und $\tau = \frac{\tau' + \tau''}{2}$.

Dieser Vorgang bringt auf jedem Standpunkt i die Ergebnisse A_i, τ_i und t_i. Durch Einsetzung von A_i und τ_i in die zugehörige Aneroidgleichung findet man den entsprechenden Luftdruck B_i. Die Höhenunterschiede H zwischen den Standpunkten sind dann nach einem der folgenden Verfahren zu bestimmen.

a) Die rechnerische Auswertung der vorne angegebenen Formeln ist anzuwenden, wenn nur einige wenige Höhenunterschiede gesucht sind.

b) Verfahren der rohen Seehöhen[46].

In sog. barometrischen Höhentafeln sind mit den Argumenten B und t die Höhenunterschiede gegen eine Bezugsfläche angegeben, in der ein bestimmter Luftdruck herrscht. Wählt man z. B. $B = 762$ mm (*Jordan*), also einen Druck, wie er etwa in Meereshöhe vorhanden sein kann, so ergibt der Tafelwert die sog. rohe Seehöhe. Sie würde mit der absoluten Seehöhe nur dann übereinstimmen, wenn im Augenblick der Beobachtung, auf der Meeresoberfläche selbst der Bezugsdruck $B = 762$ vorhanden wäre. Die Differenz der zu den Drucken B bzw. B' interpolierten rohen Seehöhen H_u des unteren bzw. H_o des oberen Standpunktes ergibt mit $H_o - H_u = H$ den gesuchten Höhenunterschied der Standpunkte.

c) Höhenstufenverfahren[47].

In den gleichen Tafeln ist auch die barometrische Höhenstufe d ausgewiesen als jene Höhenzunahme, die einer Druckabnahme von 1 mm entspricht. Aus der zweiten der beiden angegebenen Höhenformeln erhält man für $B' = B - 1$ mm den Höhenunterschied

$$H = d = 16\,037\,(1 + \alpha\, t)\,\frac{1}{2\,B - 1\ \mathrm{mm}}$$

als Funktion der mittleren Temperatur t und des lokalen Druckes.

Diese Formel kann praktisch auch mit dem Ausdruck

$$d_o = \frac{8019}{B_o}(1 + \alpha t)$$

angenähert werden, wo $B_o = \frac{B + B'}{2}$ zu setzen ist.

Die Veränderlichkeit der barometrischen Höhenstufe mit Luftdruck bzw. Seehöhe wird aus der folgenden Zusammenstellung erkennbar.

B =	760	660	560	460	360 mm
Seehöhe $\doteq$	0	1400	2900	4300	5700 m
d =	10,6	12,2	14,3	17,4	22,4 m.

Berechnet man mit der obigen Formel die Höhenstufen d bzw. d' zu den gemessenen Luftdrucken B bzw. B' und mittelt zu d_o oder bestimmt d_o direkt zu dem Mittelwert $B_o = \frac{B + B'}{2}$ der Luftdrucke und der Temperatur t, dann ergibt sich der gesuchte Höhenunterschied $H = d_o\,(B - B')$ um so genauer, je kleiner der Druckunterschied selbst ist.

Wendet man jedes dieser Verfahren auf ein Beispiel an, nämlich $B = 747{,}1$ mm, $B' = 721{,}5$ mm, $t = + 15^0$, $1 + \alpha \cdot t = 1{,}054\,98$, so erhält man die folgenden Ergebnisse.

a) Die erste Formel bringt das Ergebnis $H = 294{,}96$ m, aus der zweiten Formel hingegen entsteht $H = 294{,}92$ m.

b) Die barometrische Höhentafel von *Jordan* gibt die rohen Seehöhen $H_o = 462{,}0$ m, $H_u = 167{,}1$ m und daher $H = 294{,}9$ m.

c) In der gleichen Tafel kann man auch für $t = 15^0$ die zu den Drucken B bzw. B' gehörenden barometrischen Höhenstufen ablesen, nämlich $d = 11{,}33$ m bzw. $d' = 11{,}73$ m, und aus dem Mittelwert $d_o = 11{,}53$ m erhalten wir zur Druckdifferenz $B - B' = 25{,}6$ mm den Höhenunterschied $H = 295{,}17$ m.

Wird die Höhenstufe d_o aus der angegebenen Näherungsformel mit dem mittleren Luftdruck $B_o = 734{,}3$ mm berechnet, dann entsteht aus $d_o = 11{,}521$ m der Höhenunterschied 294,94 m.

Da bei der Durchführung einer barometrischen Höhenaufnahme zumeist eine Reihe von Punkten an einen Punkt mit gegebener Seehöhe angeschlossen oder zwischen zwei solche Punkte eingeschaltet werden soll, ist das folgende Messungsverfahren zu empfehlen[48].

Unter Einhaltung des vorne erwähnten Beobachtungsvorganges auf dem Anschlußpunkt und allen weiteren Punkten, erledigt man die Messungen, bei jedesmaliger Angabe des Zeitpunktes ihrer Ausführung, im Hin- und Rückgang auf demselben Weg oder auch in Form einer Schleife. Die zulässige Dauer einer solchen Beobachtungsreihe ist vom Wettercharakter abhängig, soll aber auch bei ausgesprochen fester Drucklage einen Halbtag möglichst nicht überschreiten. Den nach Rückkehr zum Festpunkt u. U. beobachteten Anschlußwiderspruch des Luftdruckes verteilt man nach irgendeinem passenden Verfahren, etwa den angemerkten Zeitintervallen proportional, auf die in den einzelnen Punkten beobachteten Drucke.

Auch wenn sich bei Hin- und Rückmessung auf den gleichen Punkten eine der Zeit proportionale systematische Abweichung zeigt, wird man vorerst den Abschlußwiderspruch entsprechend aufteilen und dann die Ergebnisse mitteln.

Zur Überprüfung des allgemeinen Druckverlaufes, insbesondere bei längerer Dauer der Messungen, ist die regelmäßige, etwa stündliche Beobachtung eines Barometers oder Aneroids im Ausgangspunkt empfehlenswert, da dann die u. U. eingetretenen Druckschwankungen sinngemäß bei der Reduktion der Außenmessungen berücksichtigt werden können, was zur Sicherstellung zutreffender Ergebnisse wesentlich beiträgt.

Die Genauigkeit der barometrischen Höhenmessung[49] ist begrenzt durch den Umstand, daß einem Schätzungsfehler von $\pm$ 0,1 mm bei der Ablesung A ein Höhenfehler vom Betrag $\pm$ 0,1 d_0 Meter entspricht, nämlich rund $\pm$ 1 m in Meereshöhe. Als Fehler eines Höhenunterschiedes wird daher $\sqrt{2}$ m oder rund $\pm$ 1,5 m als Mindestwert bei geringen Seehöhen anzunehmen sein, der sich bei nicht windstillem Wetter ebenso in nicht angebbarem Ausmaß vervielfacht, wie bei unsachgemäßem Transport, Aufstoßen, starker Sonnenbestrahlung des Aneroids usw.

Literaturhinweise zu Abschnitt G [26]—[29]

1 *Näbauer*, V. K., S. 227.
2 *Rieck, H.*, Einführung in die Flugtechnik, Wien 1949, Bohmann.
3a *Hopfner*, H. G., S. 154, 185.
3b *Jordan-Eggert*, V. K. III 2, S. 291.
4 a. a. O. 3 a, S. 186.
5 *Baeschlin*, Geodäsie, S. 524.
6 a. a. O. 5, S. 786, 788; a. a. O. 3 a, S. 154.
7 a. a. O. 5, S. 786.
8 a. a. O. 3 a, S. 156; a. a. O. 5, S. 788.
9 a. a. O. 3 a, S. 158; a. a. O. 5, S. 821; a. a. O. 3 b, S. 485.
10 a. a. O. 1, S. 181; a. a. O. 3 b, S. 408.
11a *Hartner-Doležal*, N. G. II, S. 83.
11b *Jordan-Eggert*, V. K. II 2, S. 3.
11c *Näbauer*, V. K., S. 178.
12 a. a. O. 3 a, S. 155; a. a. O. 5, S. 792.
13 a. a. O. 11 b, S. 6, 65, 67.
14 a. a. O. 11 a, S. 150; a. a. O. 11 b, S. 86; a. a. O. 11 c, S. 181.
14a *Kukkamäki, T. J.*, Die nivellitische Refraktion in dem finnischen Landesnivellement, in: Schweiz. Z. f. V. 1950, S. 70.
15 a. a. O. 11 a, S. 156; a. a. O. 11 b, S. 85; a. a. O. 11 c, S. 188, 201.
16 a. a. O. 11 a, S. 150; a. a. O. 11 b, S. 92; a. a. O. 11 c, S. 200.
17 a. a. O. 11 b, S. 117.
18 a. a. O. 5, S. 789.
19 a. a. O. 3 a, S. 154; a. a. O. 3 b, S. 412; a. a. O. 5, S. 796; *Tardi*, Géodésie I, S. 215.
20 a. a. O. 3 b, S. 410; a. a. O. 5, S. 806; a. a. O. 11 b, S. 121.

21 a. a. O. 3 b, S. 412; a. a. O. 5, S. 807; *Jung, R.*, Der Zusammenhang zwischen den orthometrischen Nivellementreduktionen nach *Helmert* und nach *Niethammer,* Z. f. V., 1941, Heft 12; *Ledersteger, K.*, Einwägung und Schwere, in: Dreiecks- und Höhenmessung, Sammlung von Vorträgen, Reichsamt f. Landesaufnahme, Berlin 1940.
22 a. a. O. 5, S. 793.
23 a. a. O. 5, S. 795; *Tardi,* Géodésie I, S. 218.
24 a. a. O. 11 c, S. 58.
25 a. a. O. 11 a, S. 18; a. a. O. 11 b, S. 13.
26 a. a. O. 11 a, S. 42, 46; a. a. O. 11 b, S, 29; a. a. O. 11 c, S. 62.
27 a. a. O. 11 a, S. 78.
28 *Wild, H.*, Neue Nivellierinstrumente, Z. f. I., 1909, Heft 11.
29 a. a. O. 11 b, S. 22, 37; a. a. O. 11 c, S. 63, 198.
30 a. a. O. 28.
31 a. a. O. 11 b, S. 46, 77.
32 a. a. O. 11 a, S. 173; a. a. O. 11 b, S. 68; a. a. O. 11 c, S. 191.
33 a. a. O. 11 a, S. 198; a. a. O. 11 b, S. 130; a. a. O. 11 c, S. 206.
34 a. a. O. 3 b, S. 482; a. a. O. 5, S. 298.
35 *Tardi,* Géodésie I, S. 197.
36 a. a. O. 11 a, S. 9.
37 a. a. O. 11 a, S. 211; a. a. O. 11 b, S. 132.
38 a. a. O. 11 b, S. 148.
39 a. a. O. 35, S. 171.
39a *Gruber, O. v.*, Optische Streckenmessung und Polygonierung mit besonderer Berücksichtigung von Zeiß-Instrumenten, Berlin 1942, Wichmann, S. 25.
40 a. a. O. 11 a, S. 136; a. a. O. 11 b, S. 335; a. a. O. 11 c, S. 231.
41 a. a. O. 11 a, S. 400; a. a. O. 11 b, S. 342; a. a. O. 11 c, S. 332.
42 a. a. O. 11 a, S. 238; a. a. O. 11 b, S. 219.
43 a. a. O. 11 a, S. 224, 236; a. a. O. 11 b, S. 179, 221, 225; a. a. O. 11 c, S. 217, S. 223
44 a. a. O. 11 a, S. 245; a. a. O. 11 b, S. 196.
45 a. a. O. 11 a, S. 260; a. a. O. 11 b, S. 200.
46 a. a. O. 11 a, S. 241; a. a. O. 11 b, S. 223.
47 a. a. O. 11 a, S. 242; a. a. O. 11 b, S. 225; a. a. O. 11 c, S. 223.
48 a. a. O. 11 a, S. 275; a. a. O. 11 b, S. 227.
49 a. a. O. 11 a, S. 294; a. a. O. 11 b, S. 235; a. a. O. 11 c, S. 226.

ABSCHNITT H

Zeichnerische Aufnahme mit dem Meßtisch

Die mit der fortschreitenden Entwicklung der zahlenmäßigen Aufnahmeverfahren außer Verwendung gekommene Vermessung mit dem Meßtisch hat neuerlich, aus wirtschaftlichen Gründen, wieder ziemliche Bedeutung erlangt. Überall dort, z. B. wo bei der Auswertung von erd- oder luftphotogrammetrischen Arbeiten sogenannte „weiße Flecken“ auftreten, d. h. Stellen, die von der Aufnahme nicht erfaßt sind, zwingt die meist regellose Verstreutheit dieser Fehlstellen zu ihrer zweckmäßigen nachträglichen Vermessung. Diese läßt sich am leichtesten und am wenigsten kostspielig dadurch erreichen, daß

man die bereits vorliegende Grundriß- und Höhenauswertung durch graphische Aufnahme mit dem Meßtisch ergänzt.

In der nachfolgenden knappen Darstellung werden nur die notwendigsten Kenntnisse vermittelt und die einfachsten Meßvorgänge behandelt. Die Gesamtheit aller Vorschriften, so wie sie bei der Meßtischaufnahme der österreichischen Katastralvermessung in Anwendung waren, ist beschrieben in der „Instruktion zur Ausführung der Vermessungen mit Anwendung des Meßtisches", herausgegeben vom k. k. Finanzministerium, die auch kurz als grüne oder Meßtisch-Instruktion bezeichnet wird [II 2].

Die notwendigen Geräte einer modernen Meßtischausrüstung, wie sie verschiedene Firmen vor allem für die erwähnte Ergänzung von photogrammetrischen Aufnahmen herstellen, unterscheiden sich von der früher üblichen im allgemeinen nur durch kleinere Ausmaße und geringeres Gewicht; Zweck, Anwendung, Handhabung und Verfahren sind die gleichen geblieben.

30 Meßtischausrüstung und -berichtigung

Die Tischplatte C (Abb. 177) wird mit dem Zwischengelege A durch Schrauben E so verbunden, daß ihr Mittelpunkt in die Um-

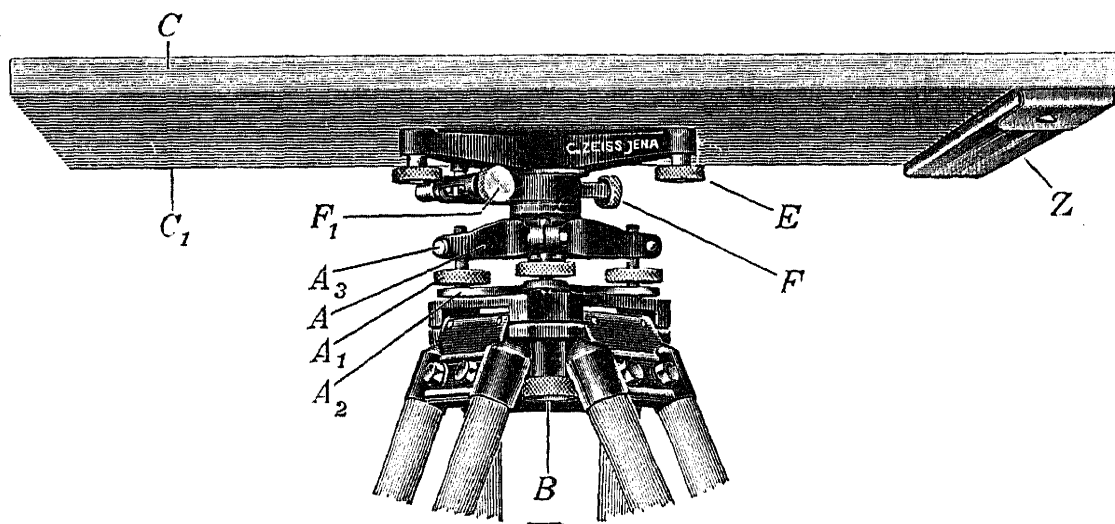



Abb. 177. *(Zeiß.)*

F Klemmschraube für Drehung der Platte,
F_1 Feinschraube für Drehung der Platte,
A_1 Stellschraube, A_2 Spannplatte, A_3 Gangregelung für Stellschraube,
B Anzugschraube,
Z Feldreißzeug.

drehungsachse fällt. Nach Festziehung des Zwischengeleges am Meßtischstativ kann die Tischplatte mit Hilfe einer Röhrensetzlibelle durch Drehung der drei Stellschrauben A_1 des Zwischengeleges waag-

recht gerichtet werden. Eine Bussole ermöglicht die genäherte Orientierung des Tisches; seine meßgerechte Aufstellung wird durch einen Koordinatenwinkel erleichtert bzw. mit einer Lotgabel überprüft. Das Feldreißzeug enthält die zur Zeichenarbeit notwendigen Geräte (Transversalmaßstab usw.), und die Kippregel (Abb. 178) dient zur graphischen Festlegung der Richtungen und Winkel bzw. auch zu optisch-polaren Einmessungen in der näheren Umgebung der Standpunkte. Zu dieser eigentlichen Meßtischausrüstung[1] treten u. U. noch die für direkte Distanzmessung und etwaige Aufnahme von Detailpunkten mit rechtwinkligen Koordinaten erforderlichen Geräte.

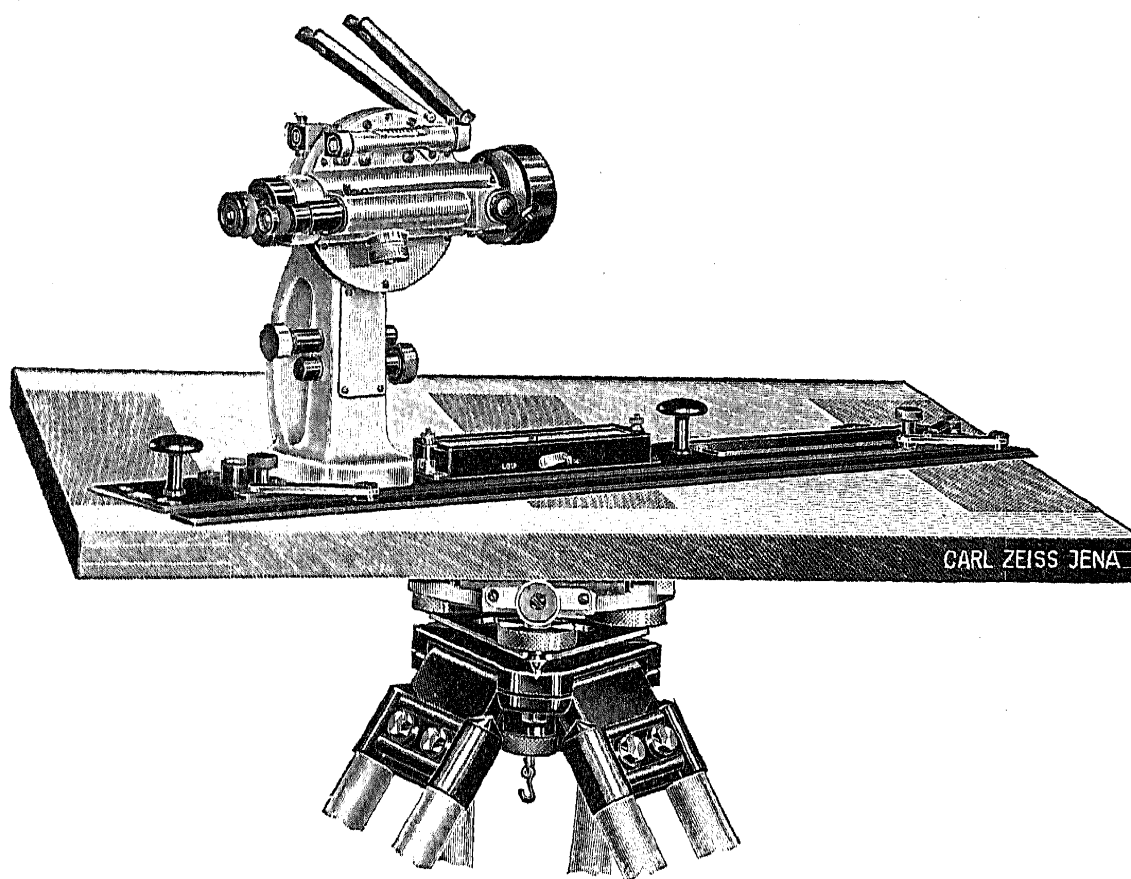



Abb. 178. *(Zeiß.)*

Für die Herstellung des meßbereiten Zustandes sind die folgenden Forderungen bzw. Berichtigungen zu erfüllen.

1. Die Übereinstimmung des Tischplattenmittelpunktes mit der Umdrehungsachse des Zwischengeleges ist bei neueren Ausrüstungen durch Zwangszentrierung gegeben. Bei älteren Tischen wird die waagrechte und am Zwischengelege nur leicht festgezogene Platte allmählich eingerichtet, bis sie bei der Drehung mit allen ihren Ecken knapp und gleich weit an einem seitlich stehenden Fluchtstab vorbeigeht, worauf man die Tischplatte endgültig am Zwischengelege festschraubt.

2. Die Tischplatte liegt waagrecht, wenn die berichtigte Setzlibelle [18,1] mit den Dreifußschrauben des Zwischengeleges über zwei Stellungslinien zum Spiel gebracht ist.
3. Hinsichtlich der Kippregel wird wie bei jedem Instrument für Horizontalwinkelmessung gefordert:
   a) Ihre Stehachse [19,71] soll lotrecht stehen. Da der Erzeuger den Fernrohrträger normal zum Lineal einrichtet, ist die Lotrechtstellung von der Genauigkeit der Waagrechtlegung des Tischbrettes abhängig.
   b) Die Zielachse muß die Kippachse rechtwinklig schneiden.
      Die Prüfung und Berichtigung, betreffend Zielachsenfehler, erfolgt nach dem Verfahren des vierfachen Fehlers unter Beachtung von [19,71 B].
   c) Die Kippachse soll während der Beobachtung waagrecht liegen.
      Bei der diesbezüglichen Prüfung und Berichtigung ist der Vorgang von [19,71 C] anzuwenden.
      Hiezu wird erwähnt, daß jede bessere alte und jede moderne Kippregel eine mit der fein neigbaren Kippachse verbundene Kippachsenlibelle besitzt. Sie ist vor jeder Zieleinstellung mit der Feinschraube zum Spiel zu bringen. Wenn am Abschluß der Prüfung die Kippachse waagrecht liegt und die Libelle nicht spielt, wird die Einspielung mit dem Libellenrichtschräubchen herbeigeführt.
   d) Die nach Erfüllung aller vorangehenden Bedingungen lotrechte Zielebene muß durch die Ziehkante des Lineals gehen.
      Diese bereits vom Erzeuger besorgte Lage kann überprüft werden durch Anzielung eines Punktes mit dem Fernrohr und über 2 Pikiernadeln, die entlang der Ziehkante eingesteckt sind. Eine Abweichung ist nach Lüftung der Schrauben, die den Fuß des Fernrohrträgers am Lineal befestigen, durch geringe axiale Drehung des Fernrohrträgers zu beseitigen.

31 Verfahren und Vorgang der Meßtischaufnahme

Grundbedingung für die richtige Ausführung der zeichnerischen Winkelmessung ist die meßgerechte, d. h. zentrierte und

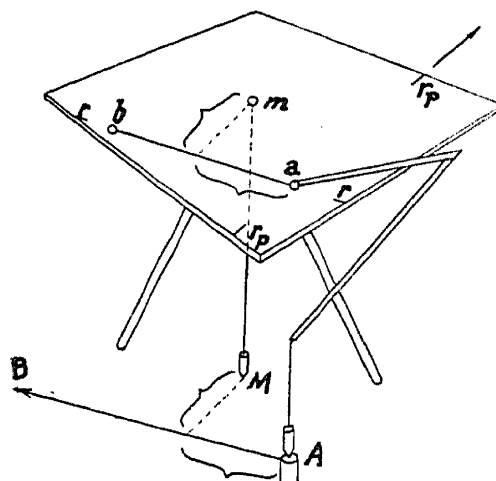



Abb. 179.

o r i e n t i e r t e A u f s t e l l u n g[2] des Tisches, die mit folgendem Vorgang erreicht wird.

Man bestimmt mit dem Koordinatenwinkel die Koordinaten des Tischmittelpunktes m (Abb. 179), bezogen auf die gewählte Orientierungslinie $a\,b$ und auf den Standpunkt a als Ursprung, legt am Boden einen Fluchtstab in die Orientierungslinie $A\,B$, trägt vom Bodenpunkt A aus die ermittelten Koordinaten mit dem Koordinatenwinkel ab und erhält so den Ort des Tischmittelpunktes M in der Natur.

Der Tisch wird nun, ähnlich wie ein Theodolit, zentrisch über M aufgestellt. Nach Waagrechtrichtung des Brettes legt man die Kippregel an die Orientierungslinie an und verdreht, nach Lösung der Klemme des Zwischengeleges, die Tischplatte vorerst grob, bis der Punkt B im Gesichtsfeld erscheint. Die Kippachsenlibelle ist mit der zugehörigen Feinschraube zum Einspielen, d. h. die Kippachse in waagrechte Lage zu bringen, und durch Drehung der Tischplatte mit der Feinschraube des Zwischengeleges stellt man das Fadenkreuz scharf auf den Punkt B ein.

Mit dieser Schlußlage ist die zentrierte und orientierte Aufstellung des Tisches erreicht. Bei Auflegen der Lotgabelmarke in den Tischpunkten a bzw. m wird das Lotgabelsenkel auf die Bodenpunkte A bzw. M weisen (Abb. 179).

Als wichtigste Aufgabe für Ergänzungsarbeiten der eingangs geschilderten Art sind der Vorwärts-, Seitwärts- und Rückwärtseinschnitt, deren rechnerische Lösung wir in [II 4] bzw. [II 5] kennenlernen, auf zeichnerischem Weg auszuführen[3]. Der hiebei einzuhaltende Vorgang wird nachfolgend in Schlagworten angegeben.

V o r w ä r t s e i n s c h n i t t des Punktes P aus den Punkten A, B.

Meßgerechte Aufstellung des Tisches in A, Anzielung von P. Während bei der Orientierung das Lineal an die Strecke $\overline{a\,b}$ angelegt und die Tischplatte verdreht wurde, muß nun durch Drehung der K i p p r e g e l um den Punkt a die Zielung auf den Punkt P gerichtet werden. Hiezu sticht man als Drehachse für die Kippregel eine feine Pikiernadel in a ein oder besser, man stellt die Linealkante genauestens auf die Punktmarke a ein und schiebt z. B. das leicht niedergehaltene Libellengehäuse als Drehachse für die Zeichenkante der Kippregel an diese an.

Durch eine flüssig ausgeführte, gleichzeitige Schiebe- und Drehbewegung der Kippregel um a wird P in das Fadenkreuz gerückt.

Die Kippachsenlibelle muß um so genauer einspielen, je steiler die Zielung verläuft.

Diese Kippregellage ist durch Zeichnung zweier Randmarken (r_p, r_p) für den Strahl $a — p$ festzuhalten (Abb. 179).

Wiederholung des Vorganges für alle Strahlen vom gleichen Standpunkt aus.

Nach Übertragung der Ausrüstung in den zweiten Standpunkt B wird in ihm der Tisch (wie vorhin beschrieben) meßgerecht, also zentriert und orientiert, aufgestellt. Meßvorgang wie im Standpunkt A.

Nun erst zeichnet man die Verbindungslinie der zusammengehörenden Randmarken, nur in der Nähe des Schnittpunktes, sticht diese fein ein, entfernt die Bleistiftlinien und beschriftet die gestochene Punktmarke.

S e i t w ä r t s e i n s c h n i t t des Punktes P aus den Punkten A, B.

Man arbeitet vorerst so wie für einen Vorwärtseinschnitt von P und erhält als Ergebnis die Randmarken r_p für $a - p$. Da der Tischpunkt p nachträglich entsteht, kann die zentrische Aufstellung über dem schon bezeichneten Bodenpunkt P nur genähert ausgeführt werden. Hiezu schätzt man die zukünftige Punktlage entweder mit Hilfe der Distanz AP oder mit dem Winkel APB, bestimmt die Mittelpunktkoordinaten in bezug auf den genäherten Punkt p und stellt damit den Tisch zentriert und orientiert (hinsichtlich der Richtung $p - a$) auf.

Es wird der Tischpunkt b durch eine Nadel oder sonstwie als Drehpunkt für die Kippregel bezeichnet und diese durch die erwähnte Drehschiebebewegung bei einspielender Kippachsenlibelle auf B eingestellt.

Der Schnitt der Ziehkante mit der Orientierungsrichtung gibt p. Durch Ablotung mit der Lotgabel erhält man den endgültigen Punkt P. Er kann von der vorhandenen Bodenmarke höchstens um den Unterschied zwischen dem geschätzten und endgültigen Planpunkt abweichen.

R ü c k w ä r t s e i n s c h n i t t des Punktes P aus den Punkten A, B, C.

Unter Hinweis auf die in [II 5] enthaltenen theoretischen Unterlagen zu dieser Punktbestimmung und mit Verzicht auf eine ausführlichere Darstellung der zahlreichen entwickelten graphischen Verfahren[4] beschränken wir uns auf die Behandlung jenes Vorganges, der bei Beachtung der *Lehmann*schen Sätze[5] auf indirektem Weg, d. h. über entstehende Fehlerdreiecke, am raschesten zum Ziel führt und zugleich einen Schluß auf die Güte der Punktbestimmung darbietet.

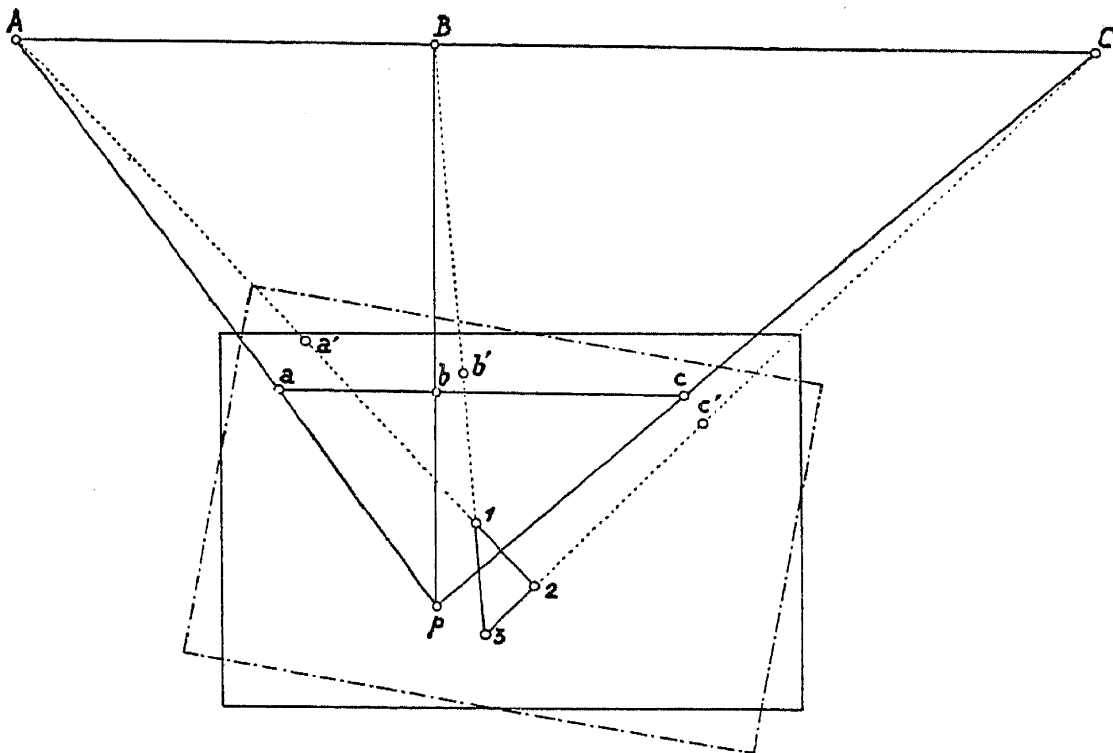



Abb. 180.

Wir setzen dabei voraus, daß der durch die gegebenen Punkte A, B, C gehende „gefährliche Kreis“ [II 5] nicht auch durch den Standpunkt P geht und erkennen aus Abb. 180, daß sich die drei Richtungen Aa, Bb, Cc von den Außenpunkten nach den entsprechenden Tischpunkten dann in dem Tischpunkt p (über dem gesuchten Bodenpunkt P) schneiden, wenn die Tischplatte mit der Punktfigur a, b, c zur ähnlichen Figur der Außenpunkte richtig orientiert ist.

Bei mangelhafter Orientierung, d. h. in der strichpunktierten Tischlage, schneiden sich die Richtungen Aa', Bb', Cc' in dem fehlerzeigenden Dreieck 1, 2, 3.

Die erwähnten *Lehmann*schen Sätze weisen den Weg zur Ableitung der richtigen Orientierung für die Richtung nach dem mittleren der drei gegebenen Punkte. Ohne auf Einzelheiten einzugehen, verfolgen wir die Herstellung der richtigen Orientierung durch eine schlagwortartige Schilderung des praktischen Arbeitsvorganges an zwei Beispielen.

Da die Lösung zuerst am Tisch entsteht, wird man die endgültige Bodenmarke womöglich erst am Ende der Arbeit festlegen.

Aufstellung des Tisches. Gut genäherte Tischorientierung nach Sichten oder mit der Orientierungsbussole bei vorhandenem Koordinatengitter bzw. eingetragener magnetischer Nordrichtung. Geringe Verschwenkung (erste, positive Fehlorientierung) der Tischplatte, d. h. Änderung der Orientierung um einige Winkelgrade, z. B. durch Beobachtung der Bussole, Klemmung des Tisches.

Anzielung der Punkte A, B, C durch Drehschiebung der Kippregel um a, b, c und Zeichnung der entsprechenden Randmarken, aber auch zugleich der Strahlenteile in der Nähe des voraussichtlichen Schnittpunktes p. Zufolge der oben angeführten Änderung der richtigen Orientierung ist ein kleines fehlerzeigendes Dreieck 1, 2, 3 (Abb. 180, 181) entstanden.

Unter Beobachtung der Bussole oder durch Schätzung verschwenkt man die Tischplatte mit ihrer Feinbewegung so lange, bis eine zweite, der ersten entgegengerichtete, aber ungefähr gleich große, negative Fehlorientierung erreicht ist. Klemmung des Tisches.

Die Wiederholung der Anzielung von A, B, C erzeugt ein zweites fehlerzeigendes Dreieck 4, 5, 6 (Abb. 181 a).

Mit den beiden Dreiecken wird die orientierte Lage des mittleren Zielstrahles nach der aus den *Lehmann*schen Sätzen folgenden und aus der Abb. 181 ersichtlichen Konstruktion bestimmt.

Im Schnitt der Verbindungslinie 2—5 mit den beiden fehlorientierten Mittelzielungen ergeben sich die Punkte 7, 8, in denen man die zwei Normalen zu $\overline{25}$ errichtet. Auf ihnen werden die Abstände $\overline{28} = x$ bzw. $\overline{57} = y$ gleich oftmal und nach verschiedenen Seiten von $\overline{25}$ derart abgetragen, daß die Verbindung der Endpunkte 9 bzw. 10 die Strecke $\overline{25}$ möglichst günstig im Hilfspunkt h schneidet. Der Strahl h—b stellt die orientierte Projektion der Zielung PB dar.

Haben sich, z. B. wegen zu geringer zweiter Fehlorientierung, Fehlerdreiecke nach Art der Abb. 181 b ergeben, so entsteht bei sinngemäß abgeänderter

Konstruktion, nämlich gleichgerichteter Abtragung von x bzw. y, der Hilfspunkt h außerhalb der beiden Fehlerdreiecke.

Man legt nun die Kippregel genau an die Richtung b—h an und stellt bei einspielender Kippachsenlibelle den Punkt B durch Feindrehung der Tischplatte ein, womit deren genaue Orientierung erreicht ist.

Nach Anzielung der Punkte A bzw. C durch Drehschiebung der Kippregel um die in geeigneter Weise bezeichneten Punkte a bzw. c werden die Randmarken für diese Richtungen sowie ihr Schnitt mit der Linie h—b angerissen.

Bei fehlerfreier Ausführung treffen die beiden seitlichen Strahlen die mittlere Richtung in einem einzigen Punkt p, der das Ergebnis des Rückwärtseinschnittes darstellt. Man lotet ab und legt P durch eine Bodenmarke fest.

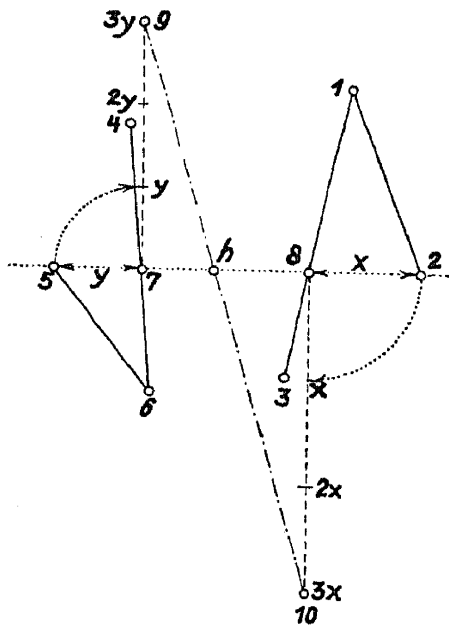
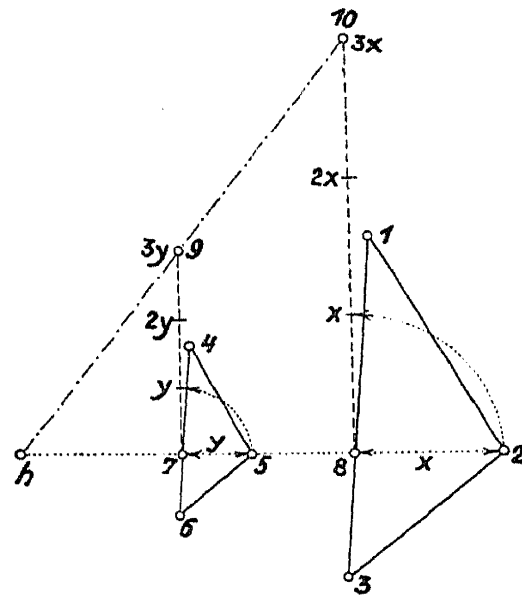



Abb. 181a. Abb. 181b.

Die vielen denkbaren Sonderfälle von möglichen Lagen der Fehlerdreiecke können in diesem Rahmen ebensowenig behandelt werden wie die Meßtischarbeit bei Polygon- oder Bussolenzügen[6]. Ihre Ausführung unterscheidet sich von der Arbeit mit dem Theodolit oder dem Bussoleninstrument nur durch die angegebene anders geartete Aufstellung des Meßtisches. Sehr oft kann, bei untergeordnetem Aufnahmezweck oder entsprechend kleinem Maßstabsverhältnis, auch die Berücksichtigung der zur betreffenden Ziellinie abseitigen Lage des Tischmittelpunktes unterbleiben.

Es sei schließlich bemerkt, daß die wirtschaftlich vorteilhafte Verwendung des Meßtisches, insbesondere für die eingangs erwähnten Ergänzungsarbeiten, zur Ausbildung eines modernen Kippregeltypus führte. Als wesentliche Kennzeichen gelten: gedrungener stabiler Bau, Fokussierfernrohr, Ablesung der Libellen und des Höhenkreises vom Fernrohrokular aus oder — in neuester Zeit — von oben her in jener Kopfhaltung, die sich bei der Zeichenarbeit auf dem verhältnismäßig tiefer liegenden Brett des Tisches ergibt.

Vor allem aber ist das nur einfache Lineal der Kippregel alter Form nun durch ein verlängerbares Zusatzlineal (mit den in der Abb. 178 erkennbaren Schwenkern) ergänzt, wodurch die Ziehkante des Hauptlineals in beschränktem Maß parallel versetzt werden kann. Während früher die schärfste Anlegung der Ziehkante an den als Drehpunkt geforderten Tischpunkt notwendig war und eine im Verlaufe der erwähnten zielenden Drehschiebebewegung nur allzu leicht eintretende Abweichung sehr zeitraubend korrigiert werden mußte, ist nun durch eine geringfügige Verschiebung des Parallellineals in die Tischpunktmarke ohne Genauigkeitsverlust ein ganz bedeutender Zeitgewinn erzielbar.

Im Zusammenhang mit der Herstellung oder Ergänzung von Schichtlinienplänen ist von *Zeiß* ein automatisch arbeitender Querprofilzeichner als Profilkippregel *Walther* hergestellt

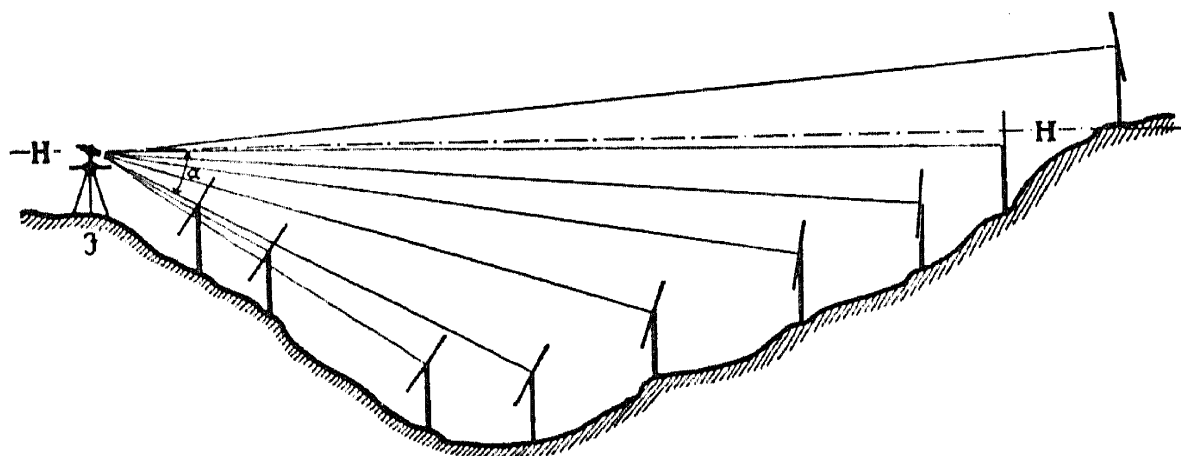



Abb. 182. *(Zeiß.)*

worden. Die Aufnahme erfolgt tachymetrisch mit einer kurzen Latte, die am lotrecht gehaltenen Fluchtstab durch ein Diopter zur Ziellinie normal gestellt wird und liefert nach dem in der Abb. 182 schematisch angedeuteten Vorgang bis zu 50 m lange Profile im Maßstabsverhältnis 1:200 oder 25 m lange Profile im Maßstabsverhältnis 1:100.

Literaturhinweise zu Abschnitt H [30], [31]

1 *Hartner-Doležal,* N. G. I 1, S. 553, 567; *Jordan-Eggert,* V. K. II 2, S. 347.
2 *Hartner-Doležal,* N. G. I 2, S. 970.
3 a. a. O. 2, S. 974.
4 a. a. O. 2, S. 976; *Jordan-Eggert,* V. K. II 2, S. 353; *Näbauer,* V. K., S. 173.
5 a. a. O. 2, S. 981.
6 a. a. O. 2, S. 993.

ABSCHNITT J

Absteckung und Trassierung

32 Allgemeiner Überblick

Die zu lösenden Aufgaben beziehen sich entweder auf die Vorarbeiten zur Gewinnung von Unterlagen für die Entwicklung eines Projektes oder auf die Übertragung von Punkten und Linien aus einem vorliegenden Plan.

Im ersten Fall handelt es sich wesentlich um die Aufsuchung von Punkten oder Linien im Gelände, die bestimmte, vorerst an Hand einer Übersichtskarte nur genähert festgestellte Bedingungen erfüllen müssen. Im zweiten Fall sind Planungsergebnisse mit größterreichbarer Genauigkeit lagen- und höhenmäßig im Gelände durch Absteckung bzw. Auspflockung von Punkten, geraden Linien und Kurven sichtbar zu machen.

Bei den die Kurvenabsteckung betreffenden Aufgaben beschränken wir uns in diesem Rahmen auf die Darstellung der Unterlagen für die Festlegung von Kreisbogen, wie man sie bei einfachen Straßen- und Stollenbauten bzw. beim Unterbau für Bahnen mit geringer Fahrgeschwindigkeit benötigt.

Für alle Arbeiten der Absteckung von Punkten nach rechtwinkligen oder Polarkoordinaten ist strenge zu beachten, daß sämtliche Strecken und Abstände entweder horizontal abgetragen, d. h. gestaffelt, werden oder daß man, bei Aufmessung der Schrägentfernung s unter der lokal beobachteten Neigung β, die zur geforderten Horizontaldistanz d führende Horizontreduktion $s - d$ in irgendeiner der angegebenen Arten [24] ermittelt und berücksichtigt. Für Absteckungen in größeren Seehöhen muß natürlich auch die Seehöhenreduktion beachtet werden, wenn ihre Größe die überhaupt geforderte Genauigkeit überschreitet.

Hiezu halten wir fest, daß nach den Angaben von [24] eine Strecke von $d_0 = 100$ m im Meeresniveau mit $d = 100$ m $+ 16$ mm abzustecken ist, wenn sie in der mittleren Meereshöhe $H_m = 1$ km liegt.

Hat man in die Natur Strecken zu übertragen, deren Länge aus den Koordinaten ihrer Endpunkte ermittelt ist, so wird entsprechend den Andeutungen von [23] der folgende grundsätzliche Vorgang einzuhalten sein.

1. Die berechnete Strecke L ist um den Betrag $L \cdot \delta_L$ der Streckenverzerrung der betreffenden Projektionsart zu entzerren, wodurch sich die Länge $L_0 = L - L \cdot \delta_L = d_0$ des Bogenstückes im Meeresniveau ergibt.

2. Diese Strecke d_0 ist auf die Seehöhe H_m zu beziehen, wo sie die Länge $d = d_0 + d_0 \cdot \delta_H$ annimmt.

3. Im Gelände mißt man die Neigung β der Schrägstrecke in der Richtung gegen ihren voraussichtlichen Endpunkt, berechnet den zu d gehörigen Betrag $s - d$ der lokalen Horizontreduktion und setzt die Schrägstrecke s damit vorläufig ab. Für sehr genaue Zwecke ist nun die Schrägstrecke nochmals zu messen, auf den lokalen Horizont zu reduzieren und bei Abweichung vom geforderten Wert d erzeugt man durch entsprechende Verbesserung des Endpunktes seine endgültige Lage.

Hier wird zusätzlich auf die Vereinfachungen hingewiesen, die sich bei Anwendung von Doppelbildtachymetern für Absteckungsarbeiten in geneigtem Gelände ergeben, zufolge der bei ihnen möglichen unmittelbaren Ablesung der vorausberechneten Schrägdistanz [25,24]. Man bestimmt für zwei gut geschätzte, den Endpunkt einschließende Lattenaufstellungen die Schrägentfernungen, interpoliert den Sollbetrag von s durch direkte Aufmessung und überprüft den erhaltenen Punkt durch eine abschließende Messung der Schrägdistanz bzw. der geforderten Entfernung d.

Wie bei der Behandlung des Reduktionstachymeters *Boßhardt-Zeiß* erwähnt wurde [25,245], kann die für eine mittlere Meereshöhe H_m geltende Seehöhenreduktion durch entsprechende Änderung der Multiplikationskonstante leicht berücksichtigt werden. Wegen der außerdem automatisch bewirkten Horizontreduktion sichert die Verwendung dieses und aller ähnlichen Instrumente bei entsprechend umfangreichen Absteckungsarbeiten, vor allem im Berggelände, nicht nur eine sehr hohe Genauigkeit, sondern auch eine unübertreffbare Wirtschaftlichkeit.

32,1 Genäherte Aufsuchung eines Trassenverlaufes

Die zu lösende Aufgabe besteht in der Festlegung einer Linie im Gelände, die bestimmte Bedingungen zu erfüllen hat. Zumeist werden in der Schichtendarstellung topographischer Karten eine oder mehrere zweckentsprechende Linien entworfen, deren Übertragung in die Natur nur dann zu keinen grundsätzlichen Schwierigkeiten führt, wenn die verwendete Karte ein lage- und höhengetreues Bild der tatsächlichen Geländeverhältnisse bot.

Zur Trassierungsarbeit, deren Vorgang nachstehend schlagwortartig angegeben ist, eignen sich besonders die in [26,4] erwähnten Pendelnivelliergeräte sowie auch alle besseren Freihandhöhenmesser.

1. Man bringt an einem Trassierstab die Zielscheibe so an, daß ihre Höhe über dem Boden (Zielhöhe Z) gleich ist der Instrumentenhöhe J, die bei einfacheren Geräten der Augenhöhe des Beobachters entspricht (Abb. 158).

2. Der im Ausgangspunkt der Trasse stehende Beobachter hat die Zielachse seines Gerätes entweder auf die geforderte Neigung gebracht, oder er projiziert die Gefällskala ins Gelände, weist den Stabträger an Hand der Karte, nach topographischen Anhaltspunkten, ungefähr in die einzuschlagende Richtung und winkt ihn daraufhin so ein, daß der Zielstrahl die Zielmarke trifft.

Der so erhaltene Standpunkt des Stabes ist richtig gewählt, wenn die Verbindung der beiden Bodenpunkte ganz am Gelände verläuft bzw. das tat-

sächliche Profil unter möglichst geringen Abweichungen ausgleichend darstellt.

3. Die Weiterarbeit wiederholt diesen Vorgang, wobei nun entweder der Beobachter den Stab überspringt und seinen folgenden Standpunkt durch Standortänderung in einer Fall-Linie des Geländes bestimmt oder aber das Instrument stets in den letzten Stabpunkt kommt und dauernd der Stabträger eingewiesen wird.

Erreicht man auf diese Art den geforderten Endpunkt durch ständige aufmerksame Beachtung der in der Karte enthaltenen topographischen Merkmale bzw. auch unter behelfsmäßiger Abschreitung von aus der Karte zu entnehmenden Distanzen, so ist dies ein Zeichen für die Güte der Planungsunterlage, und die verpflockten Zwischenpunkte geben den Verlauf der sog. Null-Linie an.

Führt die Linie nicht zum Ziel, dann muß durch Änderung ihrer Neigung innerhalb der vom Zweck bedingten Grenzen oder überhaupt durch versuchsweise Trassenverlegung die Lösung der Aufgabe herbeigeführt werden.

Diese u. U. recht schwierige Arbeit erfordert reichlich viel praktische Erfahrung im Trassieren, die insbesondere dann unentbehrlich ist, wenn es sich um die Aufsuchung einer Null-Linie handelt, die, ohne Kartenunterlage, bei Einhaltung bestimmter Neigungsgrenzwerte, auf dem vorliegenden Gelände zu entwickeln ist.

32,2 Absteckung von langen Geraden

Die zur Vermarkung des Verlaufes von sehr langen Linien[1] notwendigen Zwischenpunkte werden, wegen der zeitraubenden und oft überhaupt unmöglichen Verständigung über größere Entfernungen hinweg, nicht von den Endpunkten A bzw. E aus eingefluchtet, sondern direkt eingeschaltet. Die vorläufige Lage P' von Punkten P in einer solchen Linie erhält man entsprechend Abb. 183 a durch Wahl eines Punktes 1, Einfluchten von 1′ in Richtung A, sodann Einfluchtung von 2 in die Richtung $1'E$ usw., bis sich ein hinreichend genäherter Ort P' ergeben hat.

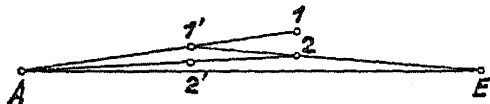
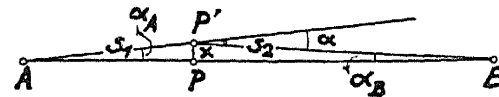



Abb. 183a. Abb. 183b.

Für sehr scharfe Einschaltung wird nun in P' der Winkel $AP'E$ gemessen, der gegen den Sollwert 180° einen Widerspruch α zeigt (Abb. 183 b). Durch Schätzung bzw. Abgreifung aus einer Karte ermittelt man die Entfernungen $s_1 = \overline{P'A}$ sowie $s_2 = \overline{P'E}$ und erhält mit den Beziehungen

$$\alpha_A'' = \frac{x}{s_1}\varrho'' \quad \text{bzw.} \quad \alpha_E'' = \frac{x}{s_2}\varrho'' \quad \text{aus} \quad \alpha'' = \alpha_A'' + \alpha_E'' \quad \text{den Wert}$$

$$x = \frac{\alpha''}{\varrho''}\,\frac{s_1\, s_2}{s_1 + s_2}.$$

Entsprechen die angenommenen Werte s_1, s_2 den tatsächlichen Verhältnissen, dann wird die Messung in P nun den Winkel 180^0 ergeben. Bei neuerlicher Feststellung eines Widerspruches erhält man die endgültige Punktlage durch Teilung des Abstandes x proportional zu den beiden Widersprüchen.

Wenn von den geforderten Zwischenpunkten aus, wie etwa bei Talpunkten, die Endpunkte A, E nicht sichtbar sind, dann müssen vorerst solche Hilfspunkte auf Kämmen in ähnlicher Art oder oft auch durch Triangulierung und nachträgliche Einrechnung der Linienschnittpunkte mit den Dreieckseiten festgelegt werden.

Von einer Darstellung der elementaren Verfahren, die bei Umgehung von in der Fluchtlinie befindlichen Hindernissen anzuwenden sind, wie etwa die parallel seitliche Linienverlegung, die Richtungsübertragung durch Hilfspolygonzüge usw., wird hier abgesehen[2].

32,3 Absteckung von Kreisbogen

Als Hauptpunkte eines Kreisbogens, der mit dem Radius r zwischen zwei gegebene Tangentenrichtungen $S—S_v$, $S—S_n$ (Abb. 184) einzuschalten ist, bezeichnen wir seinen Anfangs- (A), Mittel- (M) und Endpunkt (E). Die beiden ersten entstehen durch Abtragung der sogenannten Tangentenlänge t von S aus, während die Bogenmitte M entweder mit den rechtwinkeligen, auf A bzw. E bezogenen Koordinaten x_m, y_m oder mit dem Scheitelabstand $m = \overline{SM}$ festzulegen ist.

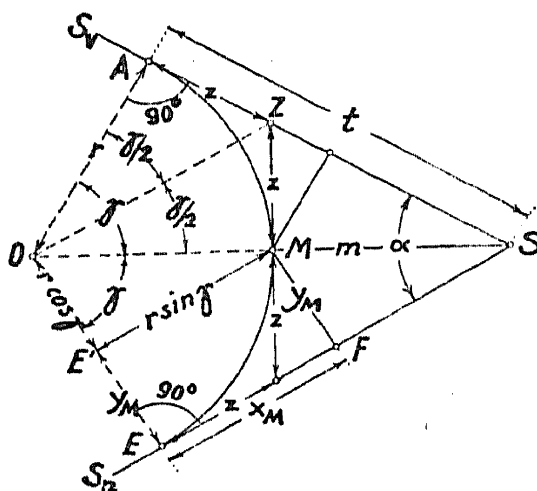



Abb. 184.
Zwischen E und F ist Punkt Z zu ergänzen.

Weitere Bogenpunkte erhält man aus ihren rechtwinkeligen Koordinaten in bezug auf A bzw. E und die Tangentenrichtungen oder aus entsprechenden Polarkoordinaten. Bei großen Kreisradien und

sehr langen Bogen wird nach Ermittlung von A bzw. E die Zwischentangente $Z—Z$ abgesteckt und auf ihr mit $\overline{AZ} = \overline{ZM} = z$ der Mittelpunkt M bestimmt.

Zur Absteckung benützt man eine der gebräuchlichen Hilfstafeln[3], in denen die Absteckungselemente, nämlich t, m, z, als Funktionen des Zentrumwinkels 2γ für den Kreisradius $r = 1$ enthalten sind. In der Einleitung dieser Tafeln findet man auch kurze Anweisungen über die Bestimmung des Scheitelwinkels durch Streckenmessung und die Bogenabsteckung bei Fehlen eines Theodoliten[3a]. Der benötigte Winkel $2\gamma = 180^0 - \alpha$ ist durch direkte Messung des Scheitelwinkels $S_v S S_n = \alpha$ in S zu ermitteln, wo S_v und S_n die benachbarten Brechpunkte des Trassenpolygons darstellen.

Wenn S nicht zugänglich ist oder weitab liegt, führt die Winkelmessung in einem Hilfspolygon (Abb. 185) bzw. auch einem

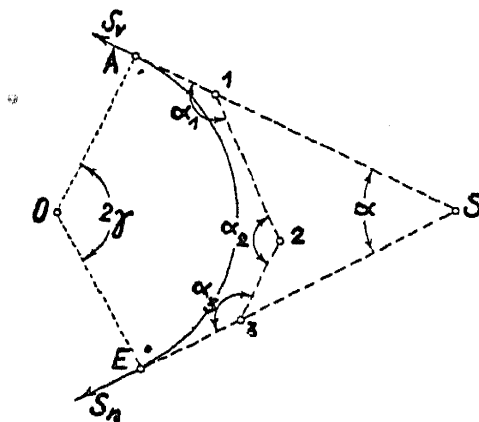



Abb. 185.

Hilfsdreieck (z. B. 13 S) zur Kenntnis des gesuchten Winkels[4]. Da im praktischen Fall nur die Trassenpunkte S_v, S_n gegeben sind, wird man das Hilfspolygon entweder zwischen ihnen einlegen oder von ihnen aus, durch bestmögliche Richtungsübertragung, je irgendeinen Punkt 1 bzw. 3 auf den Tangenten $\overline{S_v S}$ bzw. $\overline{S_n S}$ recht nahe dem späteren Kreisbogen bestimmen und die Verbindung durchführen.

Die erwähnten Hilfstafeln geben rechtwinklige Koordinaten von Bogenzwischenpunkten für praktisch vorkommende Kreisradien entweder so an, daß die abgesteckten Punkte gleich lange Bogenstücke begrenzen, oder aber die Ordinaten gehören zu gleichförmig wachsenden Abszissen.

Sind Absteckungs-Hilfstafeln nicht vorhanden oder hat man nur einige wenige Bogenpunkte zu bestimmen, dann werden die Absteckungselemente[5] auf dem folgenden Weg, entsprechend Abb. 184, berechnet.

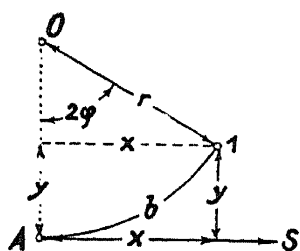
$$t = r \operatorname{tg} \gamma, \quad m = \overline{SO} - r = \frac{r}{\cos \gamma} - r, \quad z = r \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2};$$

$$x_m = \overline{EF} = \overline{E'M} = r \sin \gamma, \quad y_m = \overline{FM} = \overline{EE'} = r - \overline{OE'} = r - r \cos \gamma.$$

Für beliebige Bogenpunkte findet man aus Abb. 186 zur angenommenen Abszisse x die Ordinate $y = r - \sqrt{r^2 - x^2}$. Bei sehr kleinen

Abb. 186.

Verhältnissen $\frac{x}{r}$ ergibt sich durch Reihenentwicklung

$$y \doteq \frac{x^2}{2\,r} + \frac{x^4}{8\,r^3} = y' + \frac{x^4}{8\,r^3} = y' + \frac{y'^2}{2\,r},$$

d. h. in erster Näherung $y \doteq y' = \frac{x^2}{2r}$.

Sollen mit den Zwischenpunkten bestimmte Bogenlängen b abgeschnitten werden, dann berechnet man vorerst den zugehörigen Zentrumwinkel $2\,\varphi = \frac{b}{r}\,\varrho$ und die gesuchten Koordinaten mit den auch aus Abb. 186 ablesbaren Beziehungen

$$x = r \sin 2\,\varphi, \quad y = r - r \cos 2\,\varphi = 2\,r \sin^2 \varphi.$$

Da im Hügelgelände entweder die Staffelung der abzutragenden Strecken oder die früher beschriebene Berücksichtigung der Horizontreduktion für schräge Aufmessung den Fortschritt der Arbeit bei dieser Art der Absteckung nach rechtwinkeligen Koordinaten ziemlich verzögert, ist es vorzuziehen, nach der Festlegung der Bogenhauptpunkte die notwendigen Zwischenpunkte durch das Verfahren der Abtragung gleicher Zentrum- bzw. Umfangswinkel (Polarmethode) zu bestimmen (Abb. 187)[6].

Nach Annahme einer die Kilometrierung und spätere Auspflockung der Querprofile erleichternden runden Bogenlänge b, berechnet man die Größe des zugehörigen Zentrumwinkels $2\,\varphi$ wieder wie vorhin aus $2\,\varphi = \frac{b}{r}\,\varrho$ und damit die Sehnenlänge $s = 2\,r \sin \varphi$ oder entnimmt diese Werte aus Hilfstafeln für Kurvenabsteckung. Wird hingegen für die Sehnenlänge ein runder Betrag gewählt, so ist, als Unterlage für die Kilometrierung, das entsprechende Bogenstück b zu ermitteln.

Die Absteckung der Zwischenpunkte vollzieht sich mit dem nachfolgend beschriebenen Arbeitsvorgang.

Der beispielsweise über A meßbereit aufgestellte Theodolit wird nach der Tangente orientiert. Nach Drehung der Alhidade um φ winkt man in dieser Richtung einen Fluchtstab ein, läßt die Sehne s waagrecht abtragen und den Punkt 1 verpflocken. Die Alhidade wird wieder um φ weitergedreht und der Fluchtstab so eingewiesen, daß er vom Pflock 1 schon möglichst gut den Abstand s erhält, wodurch die Schlußstellung 2, wieder mit waagrechter Aufmessung von s, rasch erreichbar ist.

Sehr förderlich ist hiebei die Verwendung von zwei Fluchtstäben mit Dosenlibellenhaltung, die ein auf den Stäben mit Ringen gleitender Draht auch in sehr geneigtem Gelände in den Horizontalabstand s zwingt. Da die waagrechte Drahtlage, im Vergleich zu den lotrechten Stäben, von den Stabträgern selbst leicht beurteilbar ist, kann der Beobachter seine volle Aufmerksamkeit auf die scharfe Einweisung des Stabes richten.

Eine Probe für die Richtigkeit der Absteckung gibt schließlich der Vergleich des mit dem Theodolit gemessenen Restwinkels ψ' zwischen dem letzten Fluchtstab und einem von ihm um s' abstehenden, bereits ausgepflockten

Abb. 187.

Hauptpunkt. Mißt man s' und rechnet ψ' aus der Beziehung $\sin \psi' = \frac{s'}{2r}$, so muß ein vorhandener Widerspruch zwischen dem Ergebnis der Theodolitbeobachtung und Rechnung aus der möglichen Fehleranhäufung erklärbar sein. Um sie tunlichst klein zu halten, wird diese Absteckungsart von A und E aus praktisch bis höchstens gegen die Bogenmitte M hin ausgeführt oder aber, bei sehr langen Bogen AM bzw. EM, jeweils von A, E, und M aus bis zu den nach irgendeinem anderen Verfahren vorher festgelegten Viertelpunkten des Gesamtbogens.

Nur der Deutlichkeit der Bezeichnungen wegen ist in der Abb. 187 die Winkelabtragung von A aus bis gegen den Endpunkt E hin fortgeführt worden.

Für die praktische Arbeit ist eine Zusammenstellung der Vielfachen von φ zu empfehlen, wobei man dann mit einem solchen passenden Wert als Anfangsablesung nach der Tangente orientiert und die folgenden Alhidadeneinstellungen immer rasch zur Verfügung hat. Zusammengehörige Wertpaare φ, s und damit auch von ψ', s' sind für eine Auswahl von üblichen Kreisradien in allen Absteckungshilfstafeln[3] enthalten.

Mit einfacheren Winkelmeßgeräten, insbesondere solchen, die auf Stockstativen rasch aufstellbar sind, wie etwa Winkeltrommeln, Spiegel- und Prismentrommeln [17,4] usw., die nach der Messung eines Winkels die Lage seiner Schenkel geklemmt festhalten lassen, kann eine schnelle, jedoch naturgemäß nur beschränkt genaue Bogenabsteckung durchgeführt werden[7].

Hiezu stellt man in A (Abb. 188) das Gerät auf die Richtung der Tangente und der Sehne AE ein, klemmt und sucht mit dem so gegebenen Umfangswinkel ψ beliebig viele und beliebig auswählbare Punkte des Bogens auf.

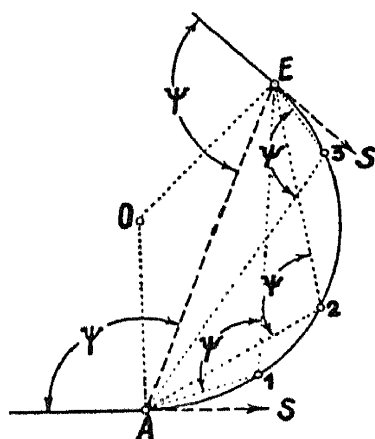
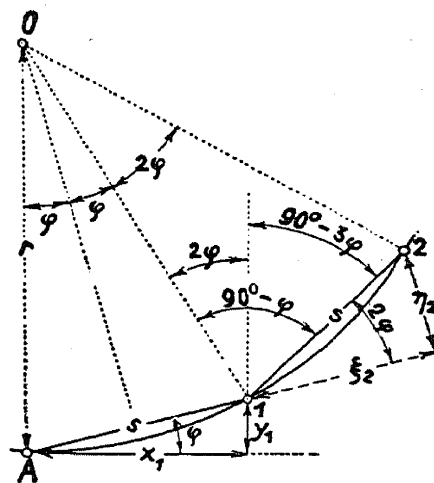



Abb. 188. Abb. 189.

Wenn die Arbeit auf beschränktem Raum um den zukünftigen Bogen stattfinden muß, wie z. B. in dichtem Wald, auf in Frucht stehenden Feldern, in Stollen usw., dann ist es zweckmäßig, ein passendes Sehnen- oder Tangentenvieleck des Kreisbogens zu entwickeln[8].

Zur Absteckung eines Sehnenpolygons (Abb. 189) wird die Sehne s den gegebenen Verhältnissen entsprechend gewählt und der zugehörige Zentrumwinkel aus der Beziehung $\sin\varphi = \frac{s}{2r}$ berechnet. Die Abtragung dieses Winkels φ von der Tangente her mit dem in A aufgestellten Theodolit liefert die Richtung zum ersten Bogenpunkt, der hierauf im Abstand s festzulegen ist. Die Auftragung des Polygonwinkels $(A\,1\,2) = 180^0 - 2\,\varphi$ im Punkt 1 und die neuerliche Absetzung der Sehne s führt zum Punkt 2.

In dieser Art wird fortgearbeitet, bis man nach E gelangt oder mit dem von dorther in gleicher Weise abgesteckten Polygon zusammentrifft. Wurde z. B. der in Abb. 187 angegebene Punkt 3 erreicht, so müßte wieder die Restsehne $\overline{3\,E} = s'$ der Bedingung $s' = 2\,r\sin\psi'$ entsprechen und daher der Polygonwinkel im Punkt 3 die Größe $180^0 - \varphi - \psi'$ aufweisen.

Findet man einen Lagewiderspruch zwischen dem gegebenen Endpunkt und dem durch die Absteckung ermittelten Punkt oder zwischen den letzten von beiden Seiten her vorgetriebenen Zwischenpunkten, dann ist der ganze Polygonzug mit der Nebenbedingung gleich großer Winkel und Seiten bzw. $s' = 2\,r\sin\psi'$

nach den Regeln von [II 8] auszugleichen. Die hiebei erhaltenen Koordinatenverbesserungen bezieht man am besten auf die bereits verpflockten Theodolitstandpunkte bzw. Seiten und stellt durch rechtwinkelige oder polare Auftragung der hinreichend genau auch graphisch in großem Maßstab bestimmbaren Verbesserungen die endgültigen Punktlagen her. Für geringere Genauigkeitsansprüche genügt es u. U., den Lagewiderspruch selbst aufzuteilen, u. zw. proportional auf jene Punkte, die zu seiner Entstehung beitrugen.

Die Absteckung eines Tangentenpolygons wird übergangen, da sie der des Sehnenpolygons ähnlich verläuft und im Bedarfsfall leicht entwickelbar ist.

Falls die mit guter Winkelmessung (z. B. mit Zwangszentrierung) auch bei sehr kurzen Zugseiten erreichbare hohe Genauigkeit dieser sog. Einrückungsabsteckung mit derartigen gleichseitigen Umfangspolygonen nicht erforderlich ist, können die beiden nachfolgend angedeuteten Näherungsverfahren angewendet werden[9].

Genäherte Einrückung mit Sehnenpolygon

Nach Wahl einer passenden Sehnenlänge s bestimmt man vorerst wieder φ aus $\sin\varphi = \frac{s}{2r}$ oder aus Absteckungshilfstafeln und findet mit Abb. 189 die Beziehungen

$$x_1 = s\cos\varphi,\ y_1 = s\sin\varphi;\quad \xi_2 = s\cos 2\varphi,\ \eta_2 = s\sin 2\varphi.$$

Durch Abtragung von x_1, y_1 ergibt sich Punkt 1; bei Verlängerung der Sehne $\overline{A1}$ und Auftragung von ξ_2 bzw. η_2 entsteht der Punkt 2. Die Verlängerung der Sehne $\overline{12}$ mit Wiederholung der Abtragung von ξ_2 und η_2 führt zu weiteren Punkten usw.

Genäherte Einrückung mit Tangentenpolygon

Für die angenommene Bogenlänge wird $2\varphi = \frac{b}{r}\varrho$ berechnet oder aus einer Absteckungshilfstafel ermittelt. Aus Abb. 190 lesen wir ab:

$$x_1 = r\sin 2\varphi,$$
$$y_1 = r - r\cos 2\varphi = 2r\sin^2\varphi,$$
$$z = \overline{AZ} = r\,\mathrm{tg}\,2\varphi;$$
$$x_2 = r\sin 4\varphi,$$
$$y_2 = 2r\sin^2 2\varphi.$$

Abb. 190.

Legt man nun die beiden Punkte 1, 2 durch ihre oben angegebenen rechtwinkligen Koordinaten fest und außerdem den Punkt Z, so ist damit die Richtung der Tangente Z—2 gegeben, die nun für die gleichartige Absteckung weiterer Punkte als Bezugslinie dient.

Anstatt den zur Bestimmung von Z notwendigen Abstand z direkt zu rechnen, kann auch das Zusatzstück $e = \overline{1'Z}$ zur Abszisse x_1 aus der Proportion $r : (x_1 + e) = y_1 : e$ ermittelt werden mit

$$e = \frac{x_1 y_1}{r - y_1} \doteq \frac{x_1 y_1}{r}.$$

Für nur überschlägige, aber beschleunigte Arbeit, insbesondere bei größeren Radien, dürfen wir das Ergebnis der weiter vorne angegebenen Reihenentwicklung verwenden, nämlich $y = y' \doteq \frac{x^2}{2r}$, und auch x durch die gewählte Bogenlänge b annähern. Es ergibt sich dann $x_1 \doteq b$, $x_2 \doteq 2x_1 \doteq 2b$; $y_1 \doteq \frac{b^2}{2r}$, $y_2 \doteq 4y_1$ und damit ein entsprechend vereinfachter Rechnungs- und Absteckungsvorgang.

Schließlich sei noch das sog. Viertelverfahren erwähnt, bei dem man zu einer gegebenen Sehne s (Abb. 191) die Pfeilhöhe $h = \frac{s^2}{8r}$ rechnet und damit die Bogenmitte M absteckt. Ist jedoch M nach einem genaueren Verfahren bereits festgelegt, so kann auch, nach Ausfluchtung der Sehne in der Nähe ihrer Mitte, die Pfeilhöhe h direkt gemessen werden. Mit der Näherung $s' \doteq \frac{s}{2}$ bzw. $h' \doteq \frac{h}{4}$ lassen sich dann, durch fortlaufende Sehnenhalbierung und Auftragung der entsprechenden Pfeilhöhe h', beliebig viele Punkte eines genäherten Bogenverlaufes abstecken.

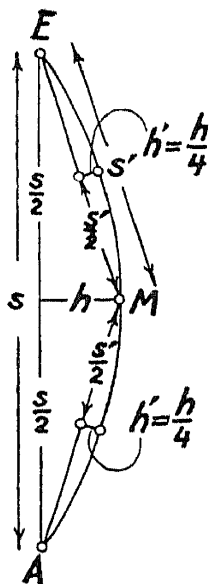



Abb. 191.

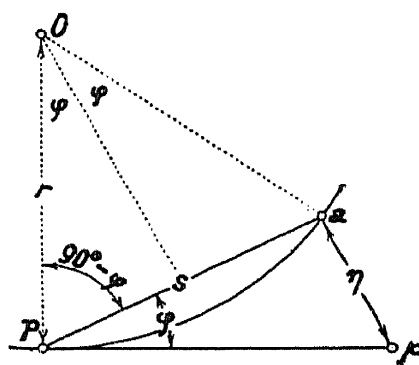



Abb. 192.

Wenn bei der Grundrißübertragung einer Projekttrasse die Querprofile des Kunstbaues innerhalb eines Bogens abzustecken sind, dann ermittelt man den Bezugspunkt P des geforderten Profils

durch Interpolation zwischen zwei benachbarten und endgültig kilometrierten Bogenpunkten, mißt die Sehne s nach einem von ihnen (z. B. a in Abb. 192) und erhält die auf s bezogene Ordinate η des Punktes p auf der Tangente in P aus der Beziehung

$$\frac{s}{2} : \sqrt{r^2 - \frac{s^2}{4}} = \eta : s, \quad \eta = \frac{s}{\sqrt{\left(\frac{2r}{s}\right)^2 - 1}}.$$

Die Richtung des Querprofils wird dann normal zur so gefundenen Tangente $\overline{Pp}$ abgesteckt. Es ist jedoch empfehlenswerter, den Winkel φ mit den Argumenten s, r einer Hilfstabelle zu entnehmen bzw. aus $\sin\varphi = \frac{s}{2r}$ zu berechnen und die Ordinate aus der Beziehung $\eta = s \operatorname{tg} \varphi$ zu bestimmen. Bei verfügbarem Theodolit kann man auch die Richtung des Querprofils durch die Abtragung des Winkels $(90^0 - \varphi)$ von der Sehne $\overline{Pa}$ aus herstellen.

Wir betonen nun noch die in der Praxis auf die Grundrißabsteckung folgende Festlegung der Höhenangaben für die endgültig vermarkten Punkte des Trassenlaufes und der Querprofile durch Tafeln mit der Angabe jener Höhenunterschiede, die in den betreffenden Punkten durch Anschüttung, Abgrabung usw. erreicht werden sollen[10]. Da aber diese mehr bautechnischen Aufgaben wie auch die Einrichtung der Böschungsgerüste für die notwendigen Erdarbeiten bzw. sonstigen Kunstbauten, vermessungstechnisch mit den einfachsten Hilfsmitteln erledigt werden können, sehen wir hier von einer weiteren Darstellung ihrer praktischen Ausführung ab.

Mit den hier vorgebrachten wichtigsten Verfahren der direkten Absteckung von Kreisbogen sind auch die Unterlagen geboten, die zur Lösung von erweiterten und Sonderaufgaben der Praxis auf diesem Gebiet notwendig sein können. Im Bedarfsfall wird man insbesondere die allen Absteckungshilfstafeln beigegebenen Erläuterungen zu Rat ziehen und erkennen, daß diese Grundzüge auch für das Verständnis der Absteckung von Korbbogen ausreichen, die aus zwei oder mehreren Kreisbögen mit u. U. verschiedenen Radien zusammengesetzt sind, von Übergangskurven, die den bei größerer Fahrgeschwindigkeit störenden Krümmungssprung zwischen Tangente und Bogen überbrücken, von Überhöhungsrampen, Gefällwechselbogen usw.[11].

Es ist nun noch das etwa um 1933 erstmalig für die Verbesserung von Geleiselagen eingeführte Fahrdiagramm zu erwähnen, als Unterlage für das von *Nalenz, Höfer* und *Schramm* stammende Winkelbildverfahren, das auch als Verfahren der Absteckung mit Fahrdiagrammen bezeichnet wird[12].

In seiner Eleganz, Einfachheit und allgemeinen Anwendbarkeit ist es geeignet, die Vielheit der bisherigen Verfahren zu ersetzen, u. zw. insbesondere in jenen Fällen, wo aus irgendwelchen Gründen eine bereits abgesteckte Trasse abgeändert oder ein schon ausgebauter Verkehrsweg verlegt werden muß.

Bei Benutzung der gebräuchlichen Verfahren ist eine solche Aufgabe immer nur durch die vollständig neue Absteckung der geänderten Trasse und daher auch aller Kreisbogen lösbar, da die üblichen Maßstabsverhältnisse der Projektgrundrisse keine hinreichend genauen Unterlagen für jene Lage- und Krümmungsänderungen darbieten, die beim Übergang von der alten auf die neue Trasse entstehen. Dagegen vermittelt das Verfahren der Absteckung mit Fahrdiagrammen, bei beliebig steigerbarer Genauigkeit, nicht nur die Unterlagen für jede Neuarbeit, sondern, wie schon oben bemerkt wurde, auch die Elemente zur Festlegung von Variationen bereits bestehender Trassen.

In dem nachfolgenden Überblick beschränken wir uns auf eine Zusammenfassung der wesentlichsten Angaben.

Das Fahrdiagramm gliedert den Ablauf der Vorwärtsbewegung eines Fahrzeuges auf der Trasse hinsichtlich der zurückgelegten Wegstrecke durch ihre Abtragung auf der W e g a c h s e (x) bzw. hinsichtlich der in jedem Trassenpunkt vorhandenen und auf eine beliebige Ausgangsachse bezogenen Wegrichtung durch deren Ablesbarkeit an der zur Wegachse normalen W i n k e l a c h s e (y).

Als Maßstabsverhältnis für die Teilung der Wegachse wählt man meist jenes des Projektgrundrisses, also etwa 1 : 1000, 1 : 500. Die Teilungseinheit auf der Winkelachse ergibt sich durch die Projektion des in einem Bahnkreis von beliebigem Radius zurückgelegten Weges auf einen konzentrischen Grundkreis von 10 m Radius, wo die Bogenlänge $b_0 = 1 \text{ m} = 10 \text{ m} \frac{\varphi_0}{\varrho}$ dem Zentrumwinkel $\varphi_0 = \frac{\varrho}{10}$ entspricht. Bei einem Maßstabsverhältnis von 1:20 für die Winkelachse wäre die lineare Teilungseinheit $b_0 = 1$ m mit 5 cm gegeben bzw. die Winkelteilung und -bezifferung aus der Beziehung $5 \text{ cm} = \frac{\varrho}{10}$ zu entwickeln.

Für die Aufzeichnung eines Fahrdiagramms gelten die folgenden Grundsätze.

1. Jede Strecke, die gegen die Ausgangsachse unter dem Winkel α geneigt ist, erscheint im Diagramm als gleich große Strecke, die mit der Ordinate $y = \alpha$ zur Wegachse parallel liegt, also, bei entsprechender Verlängerung, die Winkelachse im Punkt α schneidet.
2. Jeder Kreisbogen $\left(r, \varphi; b = r \frac{\varphi}{\varrho}\right)$, dessen Tangenten im Bogenanfang bzw. -ende gegen die Ausgangsachse unter α bzw. β, d. h. gegeneinander unter $\beta - \alpha = \varphi$, geneigt sind, wird durch die Hypotenuse eines rechtwinkligen

Dreieckes dargestellt, der entlang man den Radius als Merkmal beisetzt. Die Wegkathete b verläuft mit der konstanten Ordinate α parallel zur Wegachse, und die zweite Kathete φ ist von den Ordinaten α bzw. β begrenzt.

3. Aus 1. ergibt sich, daß jeder Polygonzug durch ein Fahrdiagramm von treppenartigem Verlauf gekennzeichnet ist.
4. Mit 1. und 2. erkennt man den in der Abb. 193 a dargestellten Zusammenhang zwischen den Fahrdiagrammen für einen Kreisbogen und je einem ihn einschließenden gleich- und hinreichend kurzseitigen Tangenten- bzw. Sehnenpolygon[12b].
5. Da wir mit abnehmender Tangenten- bzw. Sehnenlänge die Pfeilhöhe $h = \frac{s^2}{8r}$ des Kreisbogens immer zutreffender durch den Wert $h \doteq \frac{s}{2} \frac{\varphi}{2}$ annähern können, aber auch die Fläche f der schraffierten Dreiecke im Fahrdiagramm aus $f = \frac{1}{2} \frac{s}{2} \varphi$ zu rechnen ist, so erhält man mit ihr zugleich die bei einem gegebenen Sehnen- oder Tangentenpolygon abzusteckenden Pfeilhöhen des zugeordneten Kreisbogens.

Wurden z. B. zur Diagrammentwicklung die Verhältnisse 1 : 1000 für Weg und 1 : 200 für Winkel gewählt, so entspricht 1 cm² Fläche einem Querabstand von 200 cm.

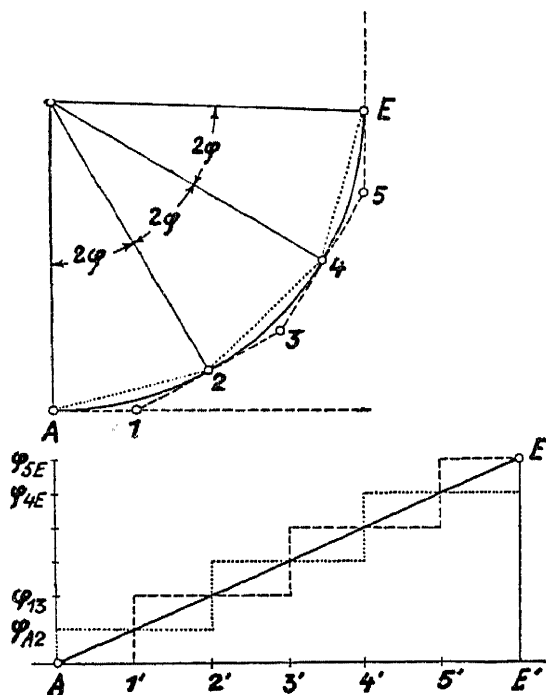



Abb. 193 a.

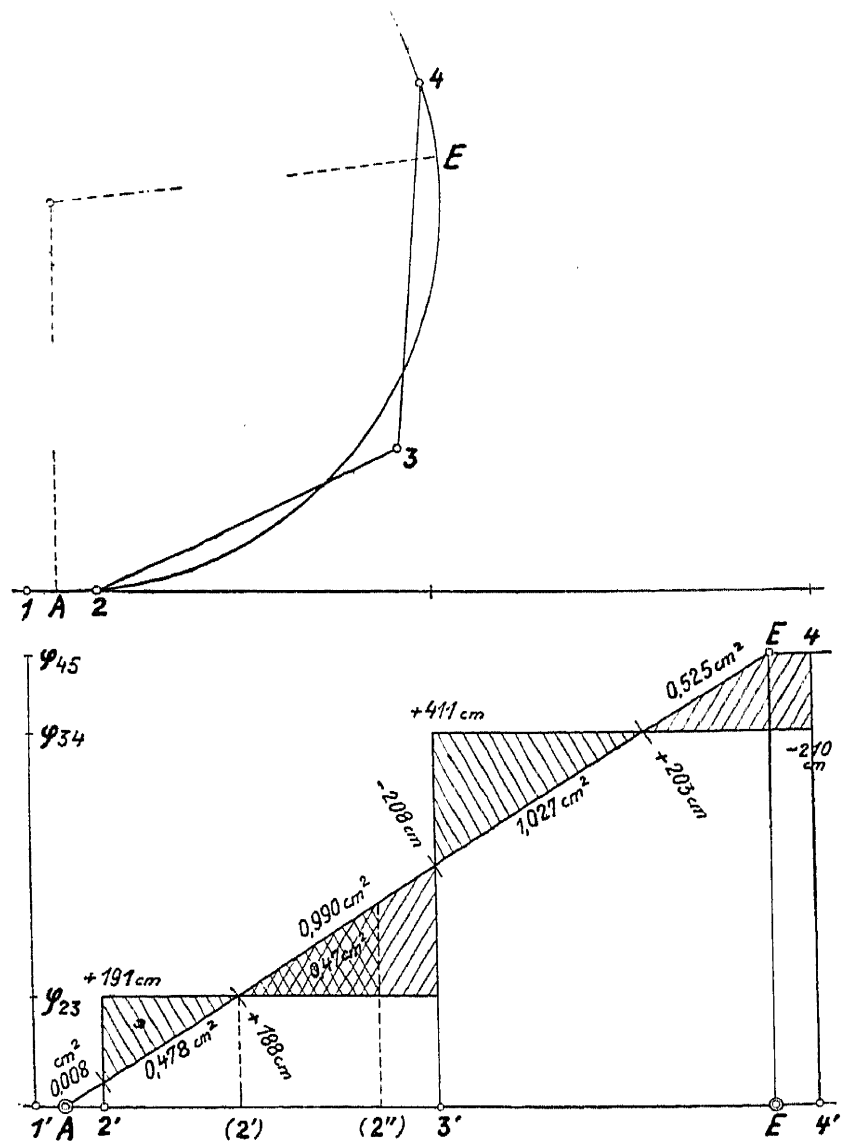



Abb. 193 b.

Wir verfolgen schließlich den Grundgedanken des Verfahrens noch an dem mit der Abb. 193 b dargestellten einfachen Beispiel. Ein Kreis vom Radius $r = 35$ m ist relativ zum Hilfspolygon 1, 2 . . . 5 und ihm möglichst nahe so festzulegen, daß ihn die Seiten $\overline{12}$ bzw. $\overline{45}$ tangieren[12b].

Nach Konstruktion des Fahrdiagramms zum Hilfspolygon, in den Maßstabsverhältnissen 1 : 1000 für Weg und 1 : 400 für Winkel, schätzt man eine dem Kreis entsprechende Schräglinie so ein, daß die zwischen ihr und dem Diagramm liegenden Flächen, von denen man die bogenauswärts liegenden negativ zählt, möglichst schon die Summe Null ergeben. Nach Tilgung eines etwa vorhandenen Widerspruches, durch entsprechende parallele Linienverschiebung, erhalten wir durch Rechnung oder Planimetrierung die Einzelflächen z. B. in cm^2 und durch ihre Multiplikation mit 400 die Maßzahlen der Querabstände in Zentimetern, weil in den gewählten Maßstabsverhältnissen die Flächeneinheit 1 cm^2 einen Querabstand von 400 cm bestimmt.

Parallel zur Hypotenuse der Diagrammdreiecke sind deren Flächen angeschrieben. Die aus ihnen folgenden Querabstände, nämlich —3, + 191, —396, + 411, —210 cm, sind aus der Abhandlung von *Moll*[12b] entnommen, zeigen aber noch einen Schlußfehler von —7 cm, wie er bei rein graphischer Bearbeitung ohne rechnerische Abstimmung auf Null wohl auftreten kann. In der Abb. 193 b ist das unterste Dreieckchen versehentlich nicht schraffiert worden. Außerdem ist der Querabstand zu diesem Dreieck, nämlich —3 cm, und der Querabstand zum dritten Dreieck, nämlich —396 cm, nicht angeschrieben.

Absteckungselemente

Im Schnitt der Schräglinie mit der Wegachse liegt der gesuchte Bogenanfang A (im Abstand $\overline{A2'}$ von 2′ gegen 1′).

Da der Querabstand des Bogens sich proportional zur Summe aller Restflächen des Diagramms ändert, die bis zur Erreichung eines Wegpunktes überstrichen wurden, ergeben sich die Größtwerte des Querabstandes überall dort, wo die Schräglinie, als Bildlinie des Kreises, das Fahrdiagramm des Polygons schneidet. Auf diese Art erhält man für das erste Bogenstück zwischen Punkt 2 und 3 die Pfeilhöhe + 188 cm (= —3 + 191) und unterhalb des betreffenden Diagrammschnittpunktes (2′ auf der Wegachse) die Strecke, in der diese Pfeilhöhe abzutragen ist. Zur Aufsuchung des Schnittes der Polygonseite $\overline{23}$ mit dem Kreisbogen müßten wir so weit fortschreiten, bis (in 2″) das überstrichene, negativ zu zählende Dreieck die Fläche $\frac{188}{400}$ cm^2=0,47 cm^2 erreicht und damit die vorausgehende Pfeilhöhe + 188 cm zum Verschwinden gebracht hat.

Bei entsprechender Wahl der Maßstabsverhältnisse des Diagramms kann man eine Genauigkeit der Querabstandsbestimmung von etwa 5 mm pro 20 m Bogenlänge erreichen.

Mit diesen grundsätzlichen Angaben ist das Wesen der Absteckung mit Fahrdiagrammen (Winkelbildverfahren) nur flüchtig

gekennzeichnet worden. Im Bedarfsfall wird das Studium der Originalabhandlungen[12] den wünschenswert umfassenden Überblick darbieten.

32,4 Zusammenfassung

Als Abschluß vergegenwärtigen wir uns in schlagwortartiger Darstellung den Ablauf der Vermessungsarbeiten, die zur Fertigstellung eines Projekts von der Aufnahme bis zur Absteckung erforderlich sind[13].

1. An Hand des Vorprojekts steckt man die in der Karte entwickelte Null-Linie mit den geforderten Gefällen in der Natur aus oder ermittelt den Verlauf u. U. direkt im Gelände, so wie in [32,1] angegeben.
2. Es folgt die Vermessung der ausgepflockten Linienpunkte durch einen sich eng anschmiegenden Polygonzug (Stützlinienzug), möglichst mit gleichzeitiger oder auch anschließender tachymetrischer Höhenaufnahme [28] für einen entsprechend breiten Streifen zu beiden Seiten des Zuges.
3. Durch die Berechnung [II 8] und Kartierung der Vermessungsergebnisse [Abschnitt A] bzw. Herstellung des Schichtenplans [28], entstehen die Unterlagen für die Verfassung des Detailprojekts.
4. Die am Plan erhaltenen Bruchpunkte S des endgültigen Trassenpolygons werden meist graphisch durch rechtwinklige oder Polarkoordinaten auf die Punkte und Seiten des Aufnahmepolygons bezogen. Da jede solche Absteckung mindestens einmal unabhängig zu überprüfen ist, treten bei der Arbeit im Felde unvermeidliche Differenzen auf, nach deren sachgemäßer Mittelung man den endgültigen Punkt verpflockt.

   Ist diese Absteckung wegen Unbetretbarkeit des betreffenden Punktes nicht möglich, dann wird die Richtung der Tangenten, nämlich $S_v S$ bzw. SS_n durch die Angabe je eines günstigen Hilfspunktes (z. B. 1 bzw. 3 in Abb. 185) festgelegt.
5. Die Winkel α in den Scheitelpunkten S bestimmt man durch direkte Messung oder leitet sie über die Hilfspunkte, u. U. auch mit einem Stützlinienzug (wie in Abb. 185), ab.
6. Es folgt die Absteckung der Bogenhauptpunkte und der erforderlichen Zwischenpunkte mit Hilfe der beobachteten Scheitelwinkel und dem aus dem Projekt entnommenen Kreisradius möglichst unter Verwendung von Absteckungshilfstafeln oder durch Rechnung nach einem der in [32,3] angegebenen Verfahren bzw. am empfehlenswertesten nach dem Absteckungsverfahren mit Fahrdiagrammen.
7. Die Arbeit schließt mit der Absteckung des Grundrisses der Kunstbauten an Hand der Projektprofile, der Beisetzung aller erforderlichen Angaben für Einschnitts- und Anschüttungshöhen sowie der Herstellung der Böschungsgerüste usw.

Zur Absteckung von Tunnel- und Stollenachsen[14] sind stets die genauesten Verfahren zu verwenden, um einen möglichst geringen Durchschlagsfehler beim Zusammentreffen der meist von beiden Enden her vorgetriebenen Achsen zu gewährleisten. Für die gegebenen, entsprechend sicher festgelegten Endpunkte A, E (Mundlochpunkte) liefert ein Feinnivellement zwischen ihnen bzw. ein sie

verbindender Präzisionspolygonzug oder bei größerer Entfernung eine Verbindungstriangulierung[15] (Dreieckskette [II 7]) hoher Genauigkeit die Unterlagen zur strengen Berechnung von Neigung, Richtung und Länge der geraden Verbindungsstrecke. Sie dient als Bezugslinie für die strenge Vorausermittlung der Absteckungselemente der u. U. aus Geraden und Bogenabschnitten zusammengesetzten tatsächlichen Achse.

Die bei der fortlaufenden Übertragung der Achsrichtung mit Theodoliten hoher Genauigkeit (z. B. dem vorhin angedeuteten Sehnenpolygonverfahren) bzw. durch Nivellement zu erwartenden Durchschlagfehler[16] können mit den Ergebnissen für die Fehlerfortpflanzung im Theodolitpolygonzug [II 34] bzw. in Nivellementzügen [II 36] abgeschätzt werden, unter der Voraussetzung, daß keine zusätzlichen Störungen durch nichtbeachtete Lotabweichungen oder vorhandene Seitenrefraktion eingetreten sind[17].

Im Rahmen dieses Abschnittes erwähnen wir schließlich noch jene interessante Gruppe von Vermessungsaufgaben, die mit der Überprüfung der Stabilität und Formänderung von Hoch- und Tiefbauten jeglicher Art, von Brücken, Talsperren, Seilbahnen usw. in Zusammenhang stehen bzw. die Bestimmung von Lage- und Höhenänderungen in Bergbau-, Beben- oder Schüttergebieten bezwecken[18].

Da die hier benützten Instrumente (Präzisionstheodolite und -nivellierinstrumente, Bauprüfgeräte usw.) grundsätzlich mit den im Verlauf unserer bisherigen Erörterungen dargebotenen Unterlagen gehandhabt werden können, und die bei solchen Arbeiten erprobten Meßverfahren sich von den hier besprochenen nur durch eine auf das Höchstmaß gesteigerte Genauigkeit unterscheiden, wird für eine tiefere Eindringung in dieses Spezialgebiet auf die einschlägige Literatur[19] verwiesen.

Literaturhinweise zu Abschnitt J

1a *Hartner-Doležal*, N. G. I 2, S. 616.
1b *Hartner-Doležal*, N. G. II, S. 419.
1c *Jordan-Eggert*, V. K. II 2, S. 528.
1d *Näbauer*, V. K., S. 362.
2 a. a. O. 1 a, S. 614.
3 *Höfer, M.,* Taschenbuch zum Abstecken von Kreisbogen mit und ohne Übergangsbogen (für Teilung des Kreises in 400°), Berlin 1938, Springer; *Sarrazin, O.*, *Oberbeck, H.*, *Höfer, M.*, Taschenbuch zum Abstecken von Kreisbogen mit und ohne Übergangsbogen (für Teilung des Kreises in 360°), 60. Auflage, Berlin 1938, Springer; *Gysin, J.*, *Moll, E.*, Tafeln zum Abstecken von Kreiskurven und Übergangsbogen in neuer Teilung (400°), 7. Auflage, Liestal 1938, Lüdin & Co. A. G.
3a *Thie*, Zur Bogenabsteckung ohne Theodolit, Z. f. V., 1944, Heft 2.
4 a. a. O. 1 b, S. 424; a. a. O. 1 c, S. 535; a. a. O. 1 d, S. 378.
5 a. a. O. 1 b, S. 422; a. a. O. 1 c, S. 531.

6 a. a. O. 1 b, S. 429; a. a. O. 1 c, S. 541; a. a. O. 1 d, S. 380.
7 a. a. O. 1 c, S. 543.
8 a. a. O. 1 b, S. 431; a. a. O. 1 c, S. 545; a. a. O. 1 d, S. 381.
9 a. a. O. 1 b, S. 430; a. a. O. 1 c, S. 545; a. a. O. 1 d, S. 384.
10 a. a. O. 1 b, S. 101; a. a. O. 1 d, S. 358.
11 a. a. O. 1 b, S. 435, 436; a. a. O. 1 c, S. 552, 558, 563; a. a. O. 1 d, S. 386.
12a Deutsche Reichsbahn, Hilfsheft h 501 für das dienstliche Fortbildungswesen, Abstecken und Vermarken von Bogen nach dem Winkelbildverfahren, Leipzig 1941, Verkehrswissenschaftliche Lehrmittelgesellschaft, Reinhold Rudolph.
12b *Moll, E.*, Trassieren und Abstecken von Straßen und Bahnen mittels Fahrdiagramm, Schweiz. Z. f. V., 1945, Heft 3, 4.
12c *Moll, E.*, Kurvenaufnahmen von Straßen und Bahnen und die Bestimmung ihrer Elemente durch Fahrdiagramme, Schweiz. Z. f. V., 1945, Heft 10.
13 a. a. O. 1 b, S. 96; a. a. O. 1 c, S. 520; a. a. O. 1 d, S. 391.
14 a. a. O. 1 b, S. 442; a. a. O. 1 c, S. 572; a. a. O. 1 d, S. 367; *Candido, L.*, Die Triangulierungs- und Absteckungsarbeiten des Hochpyhra-Ersatzstollens im Zuge der 2. Wiener Hochquellenleitung, Öst. Z. f. V., 1935, Heft 1; *Zölly, H.*, Die Länge des Gotthardtunnels und die äußeren Einrichtungen für seine Absteckung 1869—1939, Schweiz. Z. f. V., 1940, Heft 5, 6.
15 a. a. O. 1 b, S. 421; a. a. O. 1 d, S. 368.
16 a. a. O. 1 b, S. 452; a. a. O. 1 c, S. 576.
17 a. a. O. 1 c, S. 576; a. a. O. 1 d, S. 368, 371; *Schedler, A.*, Zum Problem der Seitenrefraktion, Öst. Z. f. V., 1933, Heft 5; *Sokob, E.*, Über die Seitenrefraktion, Z. f. V., 1936, Heft 9.
18 Literaturangaben siehe z. B.: Gesamtinhaltsverzeichnis der Allgemeinen Vermessungsnachrichten Bd. 1—50, Berlin 1939, Wichmann, S. 41.
19 *Lang*, Deformationsmessungen an Staumauern, Bern 1929, Abteilung für Landestopographie; *Schober, M.*, Die Anwendung der Bildmessung für die Bestimmung von Seilkurven bei Seilfähren und Seilbahnen, B. u. L., 1932, Heft 3; *Pinkwart*, Horizontale Bewegungen von Wasserbauwerken bei Ebbe und Flut, Z. f. V., 1936, Heft 18; *Haag, P.*, Messungstechnische Aufgaben beim Bau großer Brücken, Z. f. V., 1938, Heft 23; *Hülsemann*, Einrichtung zur Beobachtung des elastischen Verhaltens der Sperrmauer der Gothaer Talsperre, Z. f. V., 1939, Heft 7.

ABSCHNITT K

Vergleich, Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit der Aufnahmeverfahren

Im Verlauf der bisherigen Darstellung haben wir jene Instrumente kennengelernt, die zur Bestimmung der Elemente jeder Grundriß- und Höhenaufnahme, nämlich Seiten und Richtungen bzw. Winkel, dienen und unter der Bezeichnung „Aufnahmeverfahren" überhaupt alle jene Tätigkeiten zusammengefaßt, die sich auf die sachlich richtige Handhabung der Geräte, die notwendigen Beobachtungen usw. bezogen.

Betrachtet man indessen diese Einzelarbeiten als Vorstufe und Zwischenglied für die Lösung einer bestimmten größeren Vermessungs-

aufgabe, so erscheint es zweckmäßiger, die gesamte Planung und Durchführung dieser Aufgabe als „Aufnahmeverfahren“ zu bezeichnen, nämlich als die methodische Zusammenfügung eines Mosaiks von immer gleichartigen Instrumentverwendungen, Messungsvorgängen und Beobachtungsverfahren.

Für die Lösung jeder Vermessungsaufgabe ist stets der Grundsatz maßgebend, daß die Arbeit vom Großen her zu den Einzelheiten hin fortschreitet. In diesem Sinn erkennen wir das Dreiecksnetz einer höheren Ordnung [20,3] als Ausgangsrahmen für eine weitergehende Verdichtung zur nächstniedrigeren Ordnung durch das in der letztobigen Bedeutung aufzufassende „Aufnahmeverfahren“ der *Triangulierung* oder *Triangulation*[1].

Nach Erreichung einer dem Vermessungsziel angepaßten und entsprechend dichten Verteilung von trigonometrisch oder durch Feinpolygonzüge[1f] bestimmten Punkten ist die Grundlage für alle weiteren Aufnahmearbeiten geschaffen, die nun in zwei grundsätzlich verschiedenen Arten, nämlich nach dem *Schnittverfahren* oder nach der *Polygonalmethode*, ausgeführt werden können[2].

Beim Schnittverfahren[3] bestimmt man die Lage der aufzunehmenden Punkte aus 3—4 Richtungen, die in den Punkten des sehr dichten trigonometrischen Netzes (etwa der V. O. [20,3]) möglichst gleichzeitig nach einem im gesuchten Punkt aufgehaltenen Fluchtstab zu messen sind.

Die im Netz mit mehreren Anschlußrichtungen nach trigonometrischen Punkten orientierten Zielstrahlen müssen im Zielpunkt günstige Schnittwinkel einschließen, um die einwandfreie Berechnung der Punktkoordinaten aus dem Schnitt von je zwei orientierten Richtungen zu gewährleisten, die von koordinatenmäßig bekannten Punkten ausgehen [II 4].

Für das *Polygonalverfahren*[4] kennzeichnend ist die Anlage eines Gerippes von Polygonzügen von so hinreichender Dichte und zweckmäßiger Linienführung, daß alle festzulegenden Detailpunkte auf die Polygonseiten und Polygonpunkte bezogen werden können.

Hauptzüge verlaufen zwischen trigonometrisch bestimmten Punkten als in ihnen eingehängte Züge mit Richtungsanschluß und -abschluß an mindestens eine Netzseite. *Nebenzüge* verbinden die Hauptzüge untereinander oder auch trigonometrische Punkte mit Hauptzugpunkten. Gemeinsame Punkte von zwei oder mehreren Zügen gleicher Ordnung bezeichnet man als *Knotenpunkte*[5] [II 8].

Die sachgemäße Projektierung[5a] des Polygonnetzes verlangt neben der Bedachtnahme auf den grundsätzlichen Endzweck bzw. die später anzuwendenden Verfahren der Vermessung und die daraus

folgende Gliederung der aufzunehmenden Einzelheiten nach ihrer Wichtigkeit (Festlegung des Verlaufes von Grenzen und Grundstücken, Verkehrswegen, Gewässern usw.) nicht nur eine wohlüberlegte Disposition hinsichtlich der Überwindung von Geländehindernissen, sondern auch die Erfüllung der theoretisch begründeten Forderung [II 34], die Theodolitpolygonzüge mit tunlichst wenigen gestreckten Winkeln, also mit relativ langen Seiten, anzulegen.

Da indessen zur Erzielung größtmöglicher Lagegenauigkeit[6] der Polygonpunkte vor allem die Präzision der Winkel- und Seitenmessung aufeinander abgestimmt sein muß, gestattet die Verwendung der heute verfügbaren Universaltheodolite mit hoher Ablesungsgenauigkeit und optischer Präzisionsdistanzmessung eher einen Abgang von der Projektierung langer Seiten als vormals, wo die Winkelbeobachtung im Polygonnetz [20,64] nur mit Nonientheodoliten erfolgte und die dann sehr langen Seiten entweder direkt [24] oder mit hiezu geeigneten Fadentachymetern [25,12], [25,222] gemessen wurden.

Die Idealform eines mit optischen Präzisionstachymetern vermessenen Theodolitpolygonzuges erkennen wir derzeit in einem gestreckten Verlauf mit wenigen Seiten von etwa 100—150 m Länge bis zur äußersten Reichweite des betreffenden Doppelbildtachymeters, wobei durch äußere Umstände erzwungene noch längere Seiten unterteilt zu messen sind [25,246].

Bei der Vermarkung des Polygonnetzes halte man an dem Grundsatz fest, daß nur ihre sachgemäße Ausführung und dauerhafte Benutzbarkeit für zukünftige Arbeiten das ideelle Äquivalent der augenblicklichen Kosten darbietet, auch wenn es bei betriebseigenen Kleinvermessungen sehr oft aus finanziellen Gründen nicht möglich sein wird, die strengen Vorschriften[7] der Staatsvermessung einzuhalten.

Auf die durchgeführte Vermarkung des Polygonrahmens und geeignete Bezeichnung aller zu bestimmenden Detailpunkte folgt die Vermessung entweder nach dem Verfahren der Orthogonalaufnahme[8] oder mittels der Polarmethode[9].

Beim Orthogonalverfahren bezieht man die Detailpunkte durch rechtwinklige Koordinaten auf die Seiten des Polygonnetzes unter Benutzung der in [17] besprochenen Geräte und Meßvorgänge, wobei für die Länge direkt gemessener Ordinaten die a. a. O. vermerkten Beschränkungen gelten.

Die direkte Messung der von einem Polygonpunkt aus gezählten Abszissen erfolgt meist während der zweiten (Zurück-) Beobachtung der Polygonseite. Stärkeres Gefälle verursacht im Zusammenhang mit der Berücksichtigung der Neigungskorrektion $(s - d)$ [24], insbesondere bei den Abszissen einen verhältnismäßig langsamen Arbeitsfortschritt.

Diese Verzögerung entfällt, wenn für die Aufnahme die in [17] erwähnten Lotstabentfernungsmesser *Lodis-Zeiß* bzw. *Kipplodis-Zeiß* zur Verfügung stehen.

Weitere Bezugsachsen für die Detailaufnahme ergeben sich als Messungslinien. Sie verlaufen entweder zwischen sog. Bindepunkten, die man auf den Seiten benachbarter, etwa parallel laufender Polygonzüge einschaltet, oder auch auf verlängerten und durch Hypotenusenmessung gesicherten Ordinaten bzw. auf von Polygon- oder Bindepunkten ausgehenden Linien, deren Richtung durch Winkelmessung festgelegt wird.

Insbesondere bei der Aufnahme von Gebäuden, wichtigen Grundstücken usw. sind außer den rechtwinkligen Koordinaten der Eckpunkte immer auch ihre Abstände (Frontmaße) zu messen und die Schnittpunkte von verlängerten Kanten und Grenzen auf den Polygonseiten bzw. Messungslinien zu bestimmen.

Im Zuge des Polaraufnahmeverfahrens werden die Detailpunkte von einem bzw. mehreren benachbart liegenden Punkten des Polygonnetzes aus durch Polarkoordinaten festgelegt, d. h. durch Messung der orientierten Richtung und der Entfernung zum Detailpunkt. Besondere Bedeutung erlangte dieses Verfahren, als mit der Entwicklung der modernen Doppelbildtachymeter eine aufeinander abgestimmte und allen Anforderungen entsprechende hohe Genauigkeit der Richtungs- und Distanzmessung gesichert wurde[10].

Schwierigkeiten, wie sie sich etwa bei der Aufnahme von einspringenden Gebäudeecken ergeben können, überwindet man entweder durch die Verwendung von hiezu besonders konstruierten Latten oder überhaupt durch einen in die Richtung eingewiesenen und hinreichend weit vor der Ecke liegenden Lattenstand unter Hinzugebung der direkt gemessenen Entfernung zwischen dem Standrohr der Latte und der einspringenden Ecke[11].

Hinsichtlich der gemeinsamen Erledigung und zweckmäßigen Aufeinanderfolge aller Beobachtungen, die einerseits zur Festlegung des Polygonrahmens notwendig sind und andererseits der Detailaufnahme dienen, wird auf die diesbezüglichen Bemerkungen zur Handhabung der Tachymeter [25] verwiesen.

Für die Aufnahme einer zusammengedrängten, aber u. U. vom Polygonrahmen weiter entfernt liegenden Punktgruppe wird man durch eine immer vorteilhafte Verbindung aller Verfahren vorerst mindestens zwei Punkte mit Hilfe der Schnittmethode ableiten und dann mit der Orthogonal- oder Polaraufnahme bzw. auch kombiniert weiterarbeiten.

Wenn man die Vor- und Nachteile der nach ihren wesentlichen Grundsätzen kurz geschilderten Aufnahmeverfahren abwägt und vergleicht, so ergibt sich folgendes Bild:

Triangulierung

Die Art, in der die vorhin erwähnte Verdichtung des übergeordneten Netzes erfolgt, führt zur Unterscheidung von Netzeinschaltung bzw. Einzelpunkteinschaltung[12].

Bei ersterer wird ein Netz als Ganzes oder in Teilen, die immer so auszuwählen sind, daß sie dem Grundsatz der Arbeit vom Großen ins Kleine entsprechen, in den vorgegebenen Rahmen eingerechnet.

Das Verfahren der Netzeinschaltung ist an sich elegant, erfordert aber zur fehlerlosen Erledigung, z. B. durch Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen [II 25] oder nach bedingten Beobachtungen [II 26], nicht nur größere Übung und Erfahrung, sondern vor allem auch viel Geduld und Ruhe.

In der gewöhnlichen Praxis, mit vorgegebenen Anschlußmöglichkeiten im Netz III. und IV. O., ist die Punkteinschaltung mittels rechnerischer Ausgleichung [II 22—24] oder auch durch graphische Bearbeitung [II 40] üblich.

Für untergeordnete Zwecke wird wohl auch öfter die mehrmalige Bestimmung eines Punktes durch wiederholte Lösungen der einfachen Einschneideaufgaben aus günstigen Kombinationen verschiedener Richtungen verwendet, wobei indessen die Abweichungen von der gemittelten endgültigen Punktlage nur ein beiläufiges Bild der erreichten Genauigkeit darbieten.

Polygon- und Detailmessung

Als dem letzten tragenden Rahmen der Detailaufnahme kommt der Polygonmessung besondere Bedeutung zu, weil die hier stets wiederkehrende Vielheit gleichartiger Vorgänge bei ihrer zweckmäßigen Anordnung die größte Aussicht für die Erzielung von Leistungssteigerungen bietet.

Da die Form des Polygonnetzes immer sehr stark von dem gegebenen Gelände beeinflußt ist, sind bei seiner Disposition an sich, auch mit großer Erfahrung und Geschicklichkeit, kaum besondere Ersparungen erzielbar, doch ergeben sich diese, in einem die Wirtschaftlichkeit oft entscheidenden Ausmaß, durch die Auswahl der geeigneten Verfahren für die Detailvermessung.

In übersichtlich freier Lage wird durch Polaraufnahme mit den modernen Keildistanzmessern, insbesondere bei Verwendung von 2, u. U. auch 3 Latten, neben entsprechend hoher Genauigkeit ein unübertrefflich rascher Fortschritt der Arbeit erzielt[13]. Unter gleichen Geländeverhältnissen ist das Orthogonalverfahren nur dann zu empfehlen, wenn es sich um die Aufnahme von nur wenigen Detailpunkten handelt,

die entlang den Polygonseiten oder Messungslinien, in geringer Entfernung von ihnen, verteilt sind. In Siedlungen mit sehr dichter, unregelmäßiger Verbauung und damit zahlreichen Detailpunkten wird das Orthogonalverfahren der Polaraufnahme überlegen sein[14], weil die Aufstellung der Latten verhältnismäßig hier mehr behindert ist, als dort die Aufmessung der Abszissen bzw. Ordinaten.

Da im allgemeinen bei unverbautem freiem Gelände durch Polaraufnahme mit Präzisionsdistanzmessern gegenüber dem Orthogonalverfahren eine Zeit- und Kostenersparung von bis zu 50% erreicht werden kann[15], ist die Wirtschaftlichkeit der präzisionstachymetrischen Polaraufnahme insbesondere dann konkurrenzlos, wenn für die Bewältigung der Rechenarbeiten, d. h. für die Transformation der polaren — in rechtwinkelige Koordinaten des gegebenen Systems, das unter [10] erwähnte Rechengerät *Coorapid* zur Verfügung steht.

Literaturhinweise zu Abschnitt K

1a *Hartner-Doležal*, N. G. I 2, S. 686.
1b *Jordan-Eggert*, V. K. II 1, S. 377.
1c *Näbauer*, V. K., S. 122.
1d Behelf zur Fachprüfung für den höheren technischen Vermessungsdienst, Österr. Verein f. Vermessungswesen, Wien 1949, Heft 4, XVI. Triangulierung.
1e *Lehmann, G.*, Die Triangulation, der tragende Rahmen des Vermessungs- und Kartenwerks eines Großstaates, Grundlagen und gegenwärtige Probleme, Z. f. V., 1941, Heft 16.
1f *Gruber, O. v.*, Optische Streckenmessung und Polygonierung mit besonderer Berücksichtigung von Zeiß-Instrumenten, Berlin 1942, Wichmann, Beitrag: *Schneider, W.*, Zur Planung und Durchführung der Lage- und Höhenbestimmung von Festpunkten mit optischer Streckenmessung, S. 62.
2 Behelf zur Fachprüfung für den höheren technischen Vermessungsdienst, Österr. Verein f. Vermessungswesen, Heft 5, XVII, Neuvermessung, S. 19.
3 a. a. O. 1 a, S. 663; a. a. O. 2, S. 21; *Profeld, H.*, Die Schnittmethode, Öst. Z. f. V., 1923, Heft 1, 2; *Biach, H.*, Zur Schnittmethode aus drei Standpunkten, Öst. Z. f. V., 1937, Heft 6.
4 a. a. O. 1 a, S. 840; a. a. O. 1 b, S. 91, 528, 546; a. a. O. 1 c, S. 149, 163; a. a. O. 2, S. 23.
4a Instruktion für trigonometrische und polygonometrische Vermessungen, herausgegeben vom k. k. Finanzministerium, Wien 1904.
5 a. a. O. 1 a, S. 899.
5a a. a. O. 1 f, S. 66.
6 a. a. O. 1 a, S. 857, 930; a. a. O. 1 b, S. 552; a. a. O. 1 f, Beitrag: *Schneider, W.*, Genauigkeit optisch gemessener Streckenzüge, S. 48.
7 a. a. O. 2, S. 24; a. a. O. 4 a, S. 20.
8 a. a. O. 1 a, S. 657, 682; a. a. O. 1 b, S. 84; a. a. O. 2, S. 19.
9 a. a. O. 1 a, S. 658; a. a. O. 1 b, S. 346; a. a. O. 1 c, S. 167; *Baltensperger, J.*, Die Polarkoordinatenmethode mittels optischer Distanzmessung als Aufnahmeverfahren der schweizerischen Grundbuchvermessung, in: Die optische Distanzmessung und ihre Anwendung bei der schweizerischen Grundbuchvermessung, Winterthur 1925, Buchdruckerei Winterthur.
9a *Boßhardt, R.*, Optische Distanzmessung und Polarkoordinatenmethode, Stuttgart 1930, Wittwer, S. 81, 114.

10 a. a. O. 9 a, S. 21, 75; *Lüdemann, K.*, Zur wirtschaftlichen Festlegung von Punkten durch Polarkoordinaten, Z. f. V., 1944, Heft 8, 9.
11 a. a. O. 9 a, S. 89.
12 a. a. O. 1 a, S. 711; a. a. O. 1 c, S. 130, 138; *Jordan-Eggert,* V. K. I, Kap. II, III.
13 a. a. O. 9 a, S. 119.
14 a. a. O. 9 a, S. 132.
15 a. a. O. 9 a, S. 143.

ABSCHNITT L

Anlage und Kosten von kleinen Vermessungen und größeren Vermessungen im Anschluß an die Staatsvermessung

Die Vermessung von kleineren Gebieten, bis etwa zur Größe eines km², kann selbständig durchgeführt und bei Bedarf auch erst später in die Staatsvermessung einbezogen werden. Man wird hier, entsprechend dem obersten Grundsatz einer vom Großen ins Kleine fortschreitenden Arbeit, den Rahmen für die Detailvermessung durch die Anlage eines sehr genau beobachteten Umfangspolygons bzw. der notwendigen Verbindungszüge sicherstellen.

Die Vermessung einer längeren Ausgangsbasis[1], wie dies früher üblich war, ist unter allen Umständen zu vermeiden, da die notwendige Genauigkeit mit den der gewöhnlichen Praxis zur Verfügung stehenden Mitteln nicht erreicht werden kann. Viel empfehlenswerter und wirtschaftlicher ist es, die Streckenmessungen in den Polygonzügen mit größtmöglicher Sorgfalt und vor allem mit genau geprüften Meßgeräten auszuführen.

Das Ergebnis dieser selbständigen Kleinaufnahme wird dann allen praktischen Anforderungen entsprechen und kann in dem Augenblick, wo im Zuge der allmählichen Verdichtung des staatlichen Festpunktnetzes solche Punkte in das Gebiet oder in seine unmittelbare Nachbarschaft fallen, nachträglich in das System der Staatsvermessung umgeformt werden.

Ausgedehntere Aufnahmen sind unbedingt von vornherein im Anschluß an die Staatsvermessung zu projektieren und auszuführen, denn nur dieser Zusammenhang gewährleistet und erfüllt die Forderung nach einwandfreier Übertragung der Längeneinheit auf alle Vermessungsergebnisse.

Wenn auch derzeit z. B. in einigen neu triangulierten Gebieten Österreichs noch keine so hinreichende Punktdichte des trigonometri-

schen Netzes erreicht ist, daß man in allen Fällen ohne ergänzende Triangulationsarbeit auskommt, so verbürgt die hohe Lagegenauigkeit der zur Verfügung stehenden Netzpunkte die Möglichkeit, aus ihnen völlig befriedigende Unterlagen für die Verfassung und Ausführung von technischen Arbeiten abzuleiten.

Bei Höhenaufnahmen muß unter allen Umständen der Anschluß an Festpunkte mit gegebener Seehöhe hergestellt werden, da ein fertiger Schichtenplan mit einem lokalen Bezugspunkt von willkürlich angenommener Höhe später nur mehr sehr zeitraubend in absolute Meereshöhen überführbar ist. Wenn ein nahe liegender Höhenanschlußpunkt (Nivellementbolzen, TP usw.) nicht zur Verfügung steht, muß die Höhenübertragung u. U. auch von weiterher durch Nivellement oder trigonometrische Höhenbestimmung bewerkstelligt werden.

Beim Anschluß an das staatliche übergeordnete Dreiecksnetz ist vorerst die Unversehrtheit der Punkte zu überprüfen, die an Hand ihrer Lagebeschreibung aufgesucht werden[2]. Im Zweifelsfall führt der Vergleich von ausgeführten Richtungsbeobachtungen mit den aus gegebenen Koordinaten abgeleiteten Richtungswinkeln, nach mehreren umliegenden Punkten, zur Klärung.

Verlorengegangene trigonometrische Punkte sind nach dem in [II 33] angegebenen Verfahren wiederherzustellen[3] oder (in Österreich beim Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) zur offiziellen Wiederherstellung zu beantragen.

Bei der Anlage des anzuschließenden Netzes[4] wird man auf den Zweck abgestimmte einfachste Formen wählen und größere Zwischenräume im staatlichen Netz, z. B. durch einfache Dreiecksketten [II 7], überbrücken.

Der Signalisierung[5] und ihrer zentrischen Erhaltung während der Vermessungszeit ist größte Sorgfalt zu widmen.

Auf jedem trigonometrischen Punkt ist die augenblickliche Lage des Signals durch Ablotung aus zwei seitlichen Instrumentenaufstellungen, nach dem in [20,64] angedeuteten Vorgang, zu ermitteln und in einer orientierten Skizze darzustellen, so daß Signalexzentrizitäten bei der späteren Rechnung entsprechend berücksichtigt werden können[6].

Wählt man bei Pyramidensignalen stets die Mitte des schwarzen Kopfes als Zielpunkt, dann ist es durchaus nützlich, diesen Punkt am Bodenzeichen zu ermitteln und das Instrument bei der Beobachtung über ihm zu zentrieren. Eine allfällige Abweichung vom Zentrum, die aus der erwähnten Skizze entnehmbar ist, wird erst bei der Berechnung der endgültigen Zentrumkoordinaten beachtet.

Es ist u. U. sehr ratsam, schon während der Einschaltung eines für die spätere Detailaufnahme erwünschten kürzerseitigen Netzteiles, auch einen der projektierten Polygonzüge mit besonderer Sorgfalt zu vermessen, um aus seinen nach der Berechnung der neuen Netzpunkte feststellbaren Widersprüchen [II 8] einen Voranschlag für die allgemein erreichbare Genauigkeit aufstellen zu können.

Bei der Auswahl der weiteren Verfahren sind die vorhandenen oder beschaffbaren Instrumente von ausschlaggebender Bedeutung. Mangel an geeigneten bzw. nach den Regeln geforderten Instrumenten soll nie zur Anwendung von Instrumenten verleiten, die nur für Arbeiten geringerer Genauigkeit tauglich sind.

Zur Abschätzung der Kosten einer Vermessung wird man sich an folgende Gliederung der Einzelarbeiten halten können.

1. Verfassung des Vermessungsprojekts an Hand einer geeigneten Kartenunterlage.

2. Feststellung und Beschaffung der verfügbaren Unterlagen für den Anschluß an die staatliche Vermessung.

3. Erkundung des Geländes, Feststellung des tatsächlichen Vorhandenseins der gegebenen Anschlußunterlagen einschließlich ihrer Zuverlässigkeitsprüfung.

4. Aufstellung des endgültigen Projekts und Beschaffung der notwendigen Ausrüstung sowie des sonstigen Materials.

5. Signalisierung, Auspflockung und Vorbereitung (Herstellung der Sichten durch möglichst geringfügige Veränderungen im Waldgebiet). Anhaltspunkte hiefür gibt bereits Punkt 3.

6. Beobachtung der Triangulierung und des Polygonrahmens, wobei für kleinere Arbeiten u. U. das gleiche Instrument (*Zeiß-*, *Wild-*Theodolite, Schätzmikroskop-Theodolite) verwendbar ist.

Die Beobachtungen im Dreiecksnetz werden vorzugsweise zentrisch in Richtungssätzen ausgeführt [20,3], die Höhenwinkelmessung mit meist einmaliger Wiederholung[7].

Gute Ergebnisse im Polygonnetz sichert man durch möglichst zweimalige gewöhnliche Winkelmessung [20,1] und Beachtung des Indexfehlers bei der Neigungsbestimmung [21].

Die Streckenmessung muß auf das vorhandene Gelände abgestimmt sein. Bei direkter Streckenmessung wird möglichst getrennt von der Winkelmessung gearbeitet und gleichzeitig auch die Aufnahme von Einzelheiten mit rechtwinkligen Koordinaten erledigt.

Große Einsparung von Kosten erzielt man stets durch genaue Festlegung und Vormerkung, was in jedem einzelnen Standpunkt und zwischen zwei Standpunkten zu vermessen ist, damit mehrmalige Wege und Aufstellungen vermieden werden.

7. Es ist ratsam, schon während des Laufes einer Arbeit (Dreiecksmessung, Polygonzug usw.) immer eine vorläufige Zusammenstellung der Ergebnisse vorzunehmen, um die Möglichkeit auszuschalten, daß Fehler oder Unklarheiten nachträgliche Wiederholungen oder Aufdeckungen verlangen. Dies läßt sich bei mehreren Arbeitsgruppen leicht dadurch erreichen, daß eine Hausarbeitsgruppe diese Prüfungs- und Sicherungsarbeiten durchführt. Schlechtwetter ist zur Erledigung der Rechenarbeiten zu benützen sowie zur Prüfung und Instandhaltung der Geräte.

Anhaltspunkte für durchschnittliche Leistungen bei Vermessungsarbeiten

In den nachfolgenden Angaben sind u. a. auch jene Leistungen berücksichtigt, die im Österreichischen Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen als Standardwerte angenommen werden.

Triangulierung

Während die zur Erkundung eines Punktes notwendige Zeit zu sehr von den gegebenen Umständen abhängt, als daß hiefür eine feste Regel nennbar ist, ergeben sich bei der Vermarkung (Stabilisierung), Signalisierung, Beobachtung und Rechnung folgende Durchschnittsleistungen.

Stabilisierung und Signalisierung

I. Ordnung:	etwa 1 Punkt pro Woche.
II. Ordnung:	etwa 3 Punkte pro Woche bzw. bis zu 5 Punkten pro Woche, wenn gleichzeitig auch das Netz III. Ordnung mitbearbeitet wird.
III.—IV. Ordnung:	etwa 5 Punkte pro Woche.
V. Ordnung:	etwa 2 Punkte pro Tag.

Der Bau eines Hochstandes kann, je nach Höhe, bis zu 3 Wochen erfordern.

Beobachtung

I. Ordnung:	etwa 3 Wochen für einen Punkt.
II. Ordnung:	etwa 6—8 Punkte pro Monat.
III. Ordnung:	etwa 3 Tage für einen Punkt.
IV. Ordnung:	etwa 20 Punkte im Monat.
V. Ordnung:	bis zu 30 Punkte pro Monat.

Man rechnet ferner, daß pro Monat etwa 20 örtliche Einmessungen (Ablotung von Türmen usw.) ausgeführt werden können, wenn diese nicht gemeinsam und gleichzeitig mit den Netzbeobachtungen stattfinden.

Rechnungsarbeiten

Es ist anzunehmen, daß ein geübter Rechner, dem alle notwendigen Hilfsmittel (Rechenmaschine, entsprechende Tafelwerke, Formulare usw.) zur Verfügung stehen, bei Beachtung der einschlägigen Dienstvorschriften pro Monat etwa 4, 6, 8 bzw. 10 Punkte der II., III., IV. bzw. V. Ordnung durch strenge rechnerische Ausgleichung [II 21] fertigstellen wird.

Bei der Bearbeitung von Kleintriangulierungen, im Zusammenhang mit der Schaffung von Unterlagen für technische Projekte, können natürlich von erfahrenen Rechnern auch höhere Einzelleistungen erzielt werden, die bei graphischer Ausgleichung [II 40] ohne besondere Genauigkeitsminderung eine noch weitergehende Steigerung erfahren.

Detailaufnahme

Polygonmessung

Für die Erkundung und Stabilisierung der Polygonpunkte durch Versteinung, Verwendung von Einbaukasten, Einzementierung von Rohren usw. ist, samt Herstellung der topographischen Lagebeschreibung, eine Tagesleistung von 20—25 Punkten anzunehmen.

Wenn die Vermessung mit modernen Doppelbildtachymetern [25,24] durchgeführt wird, so ergibt sich bei reiner Polygonarbeit (d. h. ohne Detailaufnahme, aber mit allen notwendigen Anschluß-, Seiten- und Zenitdistanzbeobachtungen) eine ungefähre tägliche Leistung von etwa 20 Polygonpunkten.

Die Messung von Theodolit- oder Bussolenzügen mit gleichzeitiger Polaraufnahme des Details in gebirgigem und Waldgelände ist so sehr von den behindernden Umständen und der verlangten Vermessungsdichte abhängig, daß allgemein zutreffende Leistungswerte nicht angebbar sind.

Parzellenvermessung

Definiert man als „Anzahl der Arbeitseinheiten“ die Summe aus der Anzahl vermessener Parzellen und ihres in Hektaren ausgedrückten Flächeninhaltes, so ergeben sich die folgenden durchschnittlichen Arbeitsleistungen.

Einfaches übersichtliches Gelände mit geringer Bodenbedeckung bei überwiegender Theodolitverwendung im Schnitt- und Polarverfahren: 20—30 Arbeitseinheiten pro Tag.

Verbautes Gebiet von Stadtgemeinden: 3—6 Arbeitseinheiten pro Tag.

Auswertung (Rechnung und Kartierung)

Unter Hinweis auf die ausführlicheren Angaben in [II 2], [II 8], [II 28] beschränken wir uns hier auf die folgenden Feststellungen.

Berechnung der Polygonzüge: einschließlich aller Neben- und Kontrollarbeiten etwa 10—15 und u. U. auch mehr Punkte pro Tag.

Berechnung der Grenzpunkte nach der Polarmethode: etwa 25—30 Punkte pro Stunde.

Berechnung der Grenzpunkte nach der Schnittmethode: etwa 15—20 Punkte pro Stunde, wenn alle Vorschreibungen und Orientierungen vorher erfolgt sind, und etwa 10 Punkte pro Stunde, wenn die notwendigen Orientierungen und Vorschreibungen mitgeleistet werden müssen.

Kartierung

Bei vorwiegender Theodolitaufnahme ist für einfaches übersichtliches Gelände eine Leistung von etwa 20 Arbeitseinheiten pro Tag anzunehmen, die im verbauten Gebiet von Landgemeinden auf die Hälfte sinkt. In den schwierigeren Fällen von dicht verbauten Siedlungen, bei vorwiegender Orthogonalaufnahme, ist mit einer täglichen Durchschnittsleistung von etwa 3—5 Arbeitseinheiten zu rechnen.

Literaturhinweise zu Abschnitt L

1 *Hartner-Doležal,* N. G. I 2, S. 687.
2 Dienstanweisung für die Neutriangulierung des Gebietes von Österreich, Feldarbeiten, 2. Auflage, herausgegeben von der Abt. V 3 des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen, Wien 1935, S. 17.
3 a. a. O. 2, S. 18.
4 a. a. O. 2, S. 95.
5 a. a. O. 1, S. 715; *Jordan-Eggert,* V. K. I 1, S. 383; *Näbauer,* V. K., S. 123; a. a. O. 2, S. 27, 65.
5a Behelf zur Fachprüfung für den höheren technischen Vermessungsdienst, Österr. Verein f. Vermessungswesen, Wien 1949, Heft 4, XVI. Triangulierung, S. 4.
6 a. a. O. 2, S. 157.
7 a. a. O. 2, S. 109, 146, 151; a. a. O. 5 a, S. 17, 19.

ABSCHNITT M

Überblick über die Verfahren der Herstellung und des Druckes von Plänen und Karten

Zur Vervielfältigung eines Planes oder einer Karte ist die Herstellung einer Druckplatte notwendig. Ihr Material soll gegen die im Druckvorgang begründete Abnützung möglichst widerstandsfähig sein, aber auch eine leichte und rasch ausführbare Berichtigung bzw. Nachtragung des Karteninhaltes gestatten.

Metallische Druckplatten aus Kupfer, Aluminium, Zink sind in Millimeterstärke in Gebrauch, während Steindruckplatten, z. B. aus *Solnhofener* Schiefer, eine Stärke von mehreren Zentimetern aufweisen.

Wesentlich ist, daß das Druckplattenmaterial für Kartendrucke die hier geforderten und vorkommenden feinen Linien mit gestochener Schärfe wiedergeben muß[1].

33 Druckarten

Nach der Lage jener Striche oder Flächen, die während des Druckvorganges mit dem Papier in Berührung kommen und auf ihm abgedruckt werden, unterscheidet man Hochdruck, Tiefdruck und Flachdruck[2].

Beim Hochdruck liegen die Farbe abgebenden Teile der Druckplatte höher als ihre Umgebung, wie etwa beim Holzschnitt oder beim Buchdruck.

Zur Einschaltung von Karten- oder Planteilen mit einfacher Linienführung in Buchtexten werden Strichklischees (Stereotypien) in den Satz gefügt. Von Lichtbildern, gemalten oder sonstwie getönten Originalen stellt man im Wege des Autotypieverfahrens, unter Vorschaltung eines Rasters, photographische Aufnahmen und mit ihnen sodann Autotypieklischees her, deren Abdruck dann die Flächen in den gewünschten Tonstufen wiedergibt.

Beim Tiefdruck liegen die Farbe abgebenden Teile der Platte vertieft, und die in sie eingeriebene Druckfarbe haftet nicht an den durch mechanische und chemische Behandlung entsprechend vorbereiteten blanken Flächen.

Für Flachdruck wird auf chemischem Wege die Druckplatte so zubereitet, daß nur die abzudruckenden Teile ihrer völlig ebenen Oberfläche Farbe annehmen.

33,1 Vorlage, Originalherstellung

Für jede der genannten Druckarten ist eine auf maßhaltigem Papier (mit Aluminiumzwischenfolie) ausgeführte Reinzeichnung erforderlich, die sog. Vorlage, mit deren Hilfe das Original entweder von Hand aus, als Kupferstich oder Steinstich[3] (Lithographie) hergestellt wird, oder aber es gilt die Reinzeichnung selbst als Original, von dem man unmittelbar die Druckplatte durch ein photomechanisches Verfahren gewinnt.

Die Technik des Kupferstiches sichert eine, durch kein anderes Verfahren erreichbare, äußerste Feinheit der Striche, ist jedoch zeitraubend und kostspielig, so daß sie nur für die Herstellung von Karten für besonders hohe Ansprüche Verwendung findet.

Bevor das moderne Verfahren der photographischen Übertragung auf die Kupferplatte bekannt war, wurde die Reinzeichnung auf eine

darübergelegte Gelatinefolie geritzt. Nach Einpuderung mit blauer Farbe legt man die Pause umgekehrt auf die lackierte Kupferplatte, reibt sie ab und sticht das nun leseverkehrte Bild.

Derzeit werden die Pausen auf photographischem Weg gewonnen, durch Erzeugung eines Diapositivs, das auf die mit einer lichtempfindlichen Schichte (Chromfischleim) überzogene Kupferplatte vorerst kopiert und dann gestochen wird.

Wir erwähnen hier noch das modernste Verfahren für die Übertragung der Zeichnung eines vorhandenen Kupferstiches auf eine neue Platte, die u. U. dann notwendig ist, wenn Ergänzungen des alten Stiches nicht mehr in ihm aufgenommen werden können, sondern in der neuen Platte darzustellen sind.

Bei diesem von *Kleffner-Mangelsdorff* ersonnenen Verfahren der sog. gefestigten Wachspausen[1] ist die alte Kupferplatte mit Plastilin zu überreiben, das nur an den Flächen haftet, nicht aber an den geritzten Stellen. Nach Aufbreitung eines Filmbogens, Überreibung und Abhebung trägt der Film die dünne Plastilinschichte und zeigt die geritzten Linien der alten Kupferplatte in gestochener Schärfe. Wird nun der Filmbogen auf die gut gereinigte neue Platte gelegt und abgerieben, so nimmt diese die Plastilinschichte an und zeigt schließlich das Kartenbild in blanken Kupferlinien. Ihre Festlegung bewirkt man entweder durch Oxydation mit Schwefelammoniumdämpfen oder in einem galvanischen Stahlbad. Nach Benzolwaschung, die die Plastilinschichte entfernt, zeigt die neue Platte die Zeichnung des alten Stiches und ist zur Aufnahme der Ergänzungen an den freien Stellen bereit.

Kupferstichplatten können nach mehreren Verfahren fast unbegrenzt berichtigt werden. Soll die Kupferplatte unmittelbar zum Druck dienen, dann empfiehlt es sich, sie wegen der relativen Weichheit des Materials vorher galvanisch zu verstählen. Wenn sehr viele Drucke zu liefern sind, dann wird das Original zu seiner Schonung auf eine Aluminium-Flachdruckplatte umgelegt, mit der man die Auflage druckt.

Bei dem von *Senefelder* 1796 in München erfundenen Steinstich wird das Kartenbild durch Gelatine- oder photographisch erzeugte Pausen, ähnlich wie es für den Kupferstich dargestellt wurde, in die gut polierte Oberfläche des Steines geritzt, die zufolge einer Vorbehandlung mit Bitterkleesalz jede fettige Substanz abstößt, Wasser hingegen begierig aufnimmt.

Nach Einölung der vom Stich freigelegten Stellen sind diese für die Aufnahme und Festhaltung fetter Druckfarbe empfänglich und geben diese beim Druckvorgang ab, sobald man über das Wasserwerk der Presse den Stein dauernd feucht hält.

Wenn ein Lithographiestein nach längerem Gebrauch bzw. oftmaliger Korrektur die in die Stichlinien durch das Farbwerk der Presse aufgebrachte Farbe nicht mehr gehörig an das Papier abgibt,

wird entweder ein Neustich ausgeführt oder die Umlegung[5] auf eine Kupferplatte.

Von den früher hiezu üblichen Verfahren der galvanischen Auflagerung bzw. der Heliogravüre oder Galvanographie diente das letztere zur Herstellung der Kupfertiefdruckplatten für die österreichische Spezialkarte 1 : 75 000 [6].

Durch photographische Aufnahme eines Kreideabzuges[7] vom umzulegenden Stein oder der Reinzeichnung, unter Vorschaltung eines Prismas, entstand ein seitenverkehrtes Negativ, das auf Pigmentpapier kopiert wurde. Nach seiner Entwicklung und Aufquetschung auf die versilberte Kupferplatte bzw. Wegnahme der nicht belichteten Gelatine im heißen Wasserbad, trägt die getrocknete Kupferplatte das seitenverkehrte Pigmentrelief. Es wird in Alaunlösung gehärtet, durch Auftragung von Graphitpuder leitend gemacht, und bei waagrechter Lagerung in einem galvanischen Kupferbad entsteht im Verlauf von etwa 5 Wochen die neue Kupferplatte in erforderlicher Stärke.

Derzeit entstehen solche Umlegungen durch galvanische Gravur[8], indem man vom Kreidedruck bzw. von der Reinzeichnung ein Diapositiv erzeugt und dieses auf die mit einer lichtempfindlichen Schicht aus Chromfischleim überzogene Kupferplatte kopiert. Nach der Entwicklung, bei der die von den Linien des Diapositivs gedeckten und daher nicht belichteten Stellen aufgelöst werden, zeigt sich die Zeichnung in blanken Kupferstrichen. Die belichtete und deshalb stehengebliebene Schichte wird gehärtet und gebrannt, worauf man die für die beabsichtigte Tieflegung der blanken Stellen noch weitergehend vorbereitete Platte an der Anodenseite eines galvanischen Bades einhängt, das den Auszug des blankliegenden Kupfers mit der notwendigen Tiefe in etwa 6 Minuten bewirkt.

Die Korrekturfähigkeit von Lithographiesteinen[9] ist an sich beschränkter und endet wesentlich rascher als bei Kupferstichplatten, auf die man daher das maßhaltige Bild des Steines mit einem photomechanischen Verfahren rechtzeitig umlegt und dadurch ein unbegrenzt ergänzungsfähiges und haltbares Original schafft[10].

33,2 Erzeugung der Druckplatten

Wir kommen nun noch zur Erläuterung einiger von jenen Herstellungsmethoden für Maschinendruckplatten bzw. Druckstöcke, wie sie zum Flachdruck von größeren Kartenauflagen benötigt werden.

Zur Vermeidung der großen Kosten, die mit dem Stich eines Originals in Kupfer oder Stein verbunden sind, umgeht man diesen und überträgt das durch eine Reinzeichnung gegebene Original direkt auf die Auflagendruckplatte unter Anwendung photochemischer Verfahren.

Von diesen ist die Heliogravüre (Photogalvanographie) und die moderne galvanische Gravur bereits auch als Mittel zur Umlegung eines Steinstiches auf eine Kupfertiefdruckplatte genannt worden, und wir erwähnen nur noch als praktisch wichtigste Verfahren die Photoalgraphie[11] (bzw. Photozinkographie, -lithographie, je nach dem Material der Druckplatte, nämlich Aluminium oder Zink bzw. Stein) und die Durchlichtung.

Bei der Photoalgraphie wird von dem Original der undurchsichtigen Reinzeichnung mit einer Spezial-Kartenreproduktionskammer ein maßstäblich streng richtiges Negativ aufgenommen, das wegen der Bildumkehrung durch ein vor das Objektiv geschaltetes Prisma seitenverkehrt liegt. Die zur Aufnahme notwendige Platte entsteht meist knapp vorher, nach dem nassen Verfahren, durch Aufguß einer hart arbeitenden Jodsilberkollodiumschicht, die man in mit Heizkörpern versehenen Schleuderapparaten auf der Spiegelglasunterlage gleichmäßig verteilt und rasch trocknet[12].

Nach Kopierung des Negativs auf die mit einer lichtempfindlichen Chromeiweißschicht überzogene Aluminium- oder Zinkplatte und Farbaufwalzung, löst das folgende Wasserbad die Chromeiweißschichte nur über den unbelichteten Stellen ab, die den Strichen des Originals entsprechen. Durch die abschließende Zubereitung werden diese freigelegten Stellen der Druckplatte für die Annahme von Druckfarbe empfänglich gemacht, während alle übrigen Flächen Farbe abstoßen.

Änderungen auf einer solchen Flachdruckplatte sind in nur sehr beschränktem Umfang durch Schabung und Zeichnung mit besonderer Tusche ausführbar.

Die unter verschiedenen Namen laufenden Durchlichtungsverfahren[13] geben ein getreues Abbild des auf durchsichtiger oder mindestens lichtdurchlässiger Unterlage gezeichneten Originals der Reinzeichnung. Auf einer chemisch reinen Aluminium- oder Zinkplatte wird eine lichtempfindliche Chromgummilösung aufgetragen, getrocknet, mit dem umgekehrten Original überdeckt und belichtet.

Bei der nachfolgenden Entwicklung lösen sich, wesentlich durch Glyzerineinwirkung, die unbelichteten Stellen der Gummischichte, die den Strichen des Originals entsprechen. Die chemische Schlußbehandlung macht diese Stellen für die Festhaltung von Druckfarbe geeignet, während alle übrigen früher belichteten Flächen Druckfarbe abweisen.

Auch bei diesen mit Durchlichtung gewonnenen Flachdruckplatten sind Korrekturen nur beschränkt mit besonderer Tusche ausführbar.

Da die mit den Durchlichtungsverfahren erhaltbare Strichschärfe etwas geringer ist als bei den anderen Verfahren, wird man auf diesem Weg vor allem Karten größeren Maßstabs bzw. Pläne vervielfältigen.

Von einer Behandlung der auch in diese Gruppe fallenden Lichtpause-Methoden können wir absehen, da diese hinreichend bekannt sind. Diese Vervielfältigung liefert, insbesondere bei Gewinnung auf nassem Weg, meist mangelhaft maßhaltige Kopien, die im Bereich des Vermessungswesens nur als Skizzen gelten dürfen.

Zur Vervielfältigung von Plänen und Karten in Mehrfarbendruck

ist für jede Farbe (z. B. Grundriß, Schichtenlinien, Gewässer, Wald) eine eigene Druckplatte herzustellen, u. zw. über sog. Farbauszüge[14], d. h. Reinzeichnungen nur jener Linien, die in der betreffenden Farbe abgedruckt werden sollen.

Mit Übergehung von Einzelheiten verfolgen wir in kurzen Zügen die Entstehung der Druckplatten für den Mehrfarbendruck[15].

Über ein maßhaltiges photographisches Negativ der Vorlage erzeugt man vorerst eine Flachdruckplatte und druckt von ihr, nach dem Blaueisenverfahren, zwei Blaukopien auf maßhaltigem Zeichenkarton (mit Aluminiumzwischenfolie). In einer von ihnen wird das Kartengerippe ausgezogen, nämlich alle Gewässer mit brauner Tusche, hingegen alle Siedlungen, Verkehrslinien, Kartenzeichen, Namen (Koten) mit schwarzer Tusche. Größte Gleichmäßigkeit der Beschriftung ergibt sich durch Letterndruck der Namen bzw. Zahlen auf dünnem Papier und Aufklebung. Am zweiten Blaudruck zieht man die Terraindarstellung, d. h. Schichtenlinien und topographische Einzelheiten, in schwarzer Tusche aus.

Von diesen beiden Reinzeichnungen werden, mit Hilfe einer hier nur erwähnten photographischen Zwischenarbeit, zwei Diapositive auf Folien aus Astralon hergestellt, einem durchsichtigen, einseitig matten, anderseitig glatten Zellstoffderivat, das sich von den stofflich ähnlichen dünnen Cellophan- bzw. Ultraphanfolien[16] durch größere Steifigkeit, insbesondere aber durch volle Maßhaltigkeit auszeichnet. Die in der Schweiz erzeugten V. O. S.- (Verre organique suisse) Folien weisen bei einem Größtformat von 80 × 98 cm und einer Stärke von 0,4—2,0 mm für eine Temperaturdifferenz von 10° C Längenänderungen von 0,2—0,3 mm pro 100 cm auf und besitzen eine stahlharte Oberfläche[16a].

Mit jedem Astralondiapositiv erzeugt man auf der glatten Fläche von Astralonfolien soviel Blaudrucke als überhaupt Farben beabsichtigt sind und zieht alle in derselben Farbe zu druckenden Linien auf der matten Fläche der betreffenden Folie in schwarzer Tusche aus. In dieser Art entstehen vom Gerippediapositiv her verhältnismäßig einfach z. B. die Folien für die zwei verschiedenen grünen Farben der Wald- bzw. Wiesendarstellung sowie die Folie zur schwarzen Farbe für den Grundriß (Siedlungen, Verkehrslinien) und vom Terraindiapositiv her z. B. die Folie für die braune Farbe der Schichtenlinien.

Die richtige Lage der Gewässerdarstellung, sowohl zum Gerippe als auch zum Terrain, wird über einem Zusammendruck der Blaukopien beider Diapositive auf die glatte Fläche einer Astralonfolie erreicht, indem man, unter gleichmäßig guter Beachtung von Gerippe und Terrain, den Gewässerlauf auf der matten Folienfläche mit schwarzer Tusche auszieht und damit das Diapositiv für den Gewässerdruck in blauer Farbe erhält.

Aus allen diesen seitenrichtigen Astralondiapositiven stellt man nun seitenverkehrte her und kopiert sie auf Flachdruckplatten, durch deren Zusammendruck die Mehrfarbenkarte entsteht.

33,3 Druckverfahren

Die Herstellung der Drucke erfolgt bei Tiefdruck von Kupfer- oder Steinstichen immer mit der Handpresse und liefert, wegen der hier notwendigen Anfeuchtung des Papiers, nicht maßhaltige Drucke.

Im allgemeinen kommen solche Tiefdrucke von Karten nicht in den Handel und dienen nur zu Umdruckarbeiten.

Von F l a c h d r u c k platten ergeben sich maßhaltige Trockendrucke entweder über die Handpresse bei nur kleinen Auflagen oder über die S c h n e l l presse bzw. O f f s e t presse[17] bei größeren bzw. größten Auflagen.

In der Flachdruckschnellpresse liegt der Drucktisch horizontal, und die Druckplatte wird hier unmittelbar auf das Papier gepreßt, während die Offsetmaschine, zur Schonung der Platte, den Druck vorerst auf eine Gummiwalze absetzt, die ihn an das Papier abgibt.

Da jeder Flachdruck die abstoßende Wirkung von Wasser gegen Fett ausnützt, befindet sich in allen Flachdruckmaschinen ein F a r b- und ein W a s s e r w e r k. Dieses besorgt die Anfeuchtung der Leerflächen, jenes die Anfärbung der für Farbannahme vorbereiteten Stellen auf der Druckplatte.

Mit modernen Flachdruck-Schnellpressen können in einer Stunde etwa 600 Einfarbendrucke hergestellt werden, während Offsetmaschinen eine bis nahezu dreifache Leistung erreichen.

Auf modernen Mehrfarben-Offsetmaschinen ist derzeit ein durchlaufender Druckgang von bis zu vier Farben mit verhältnismäßig guter Einhaltung der Farbenaufpassung möglich.

L i t e r a t u r h i n w e i s e z u A b s c h n i t t M

1a *Hartner-Doležal*, N. G. II, S. 307.
1b *Hübl*, Beiträge zur Technik der Kartenerzeugung, Mitt. des k. u. k. Mil. Geogr. Inst. Wien, XVI (1896)—XX (1900).
2a *Kleffner*, Die Reichskartenwerke, Berlin 1939, Walter de Gruyter, S. 89.
2b *Bosse*, Der Kartendruck, Mitt. R. f. L., 1941, S. 113.
3 *Eckert*, Die Kartenwissenschaft II, Berlin 1925, Walter de Gruyter, S. 683.
4 a. a. O. 2 a, S. 73.
5 a. a. O. 2 b, S. 136.
6 a. a. O. 2 a, S. 74.
7 a. a. O. 2 b, S. 131.
8 a. a. O. 2 a, S. 75.
9 a. a. O. 2 a, S. 80.
10a a. a. O. 2 b, S. 133.
10b *Ohlsberg*, Die Grundlagen der lithographischen Flachdrucktechnik, in: Mitt. R. f. L., 1942, Heft 4.
11 a. a. O. 2 a, S. 87.
12 a. a. O. 2 a, S. 89.
13 a. a. O. 2 a, S. 95.
14 a. a. O. 2 a, S. 88.
15 a. a. O. 2 a, S. 92; a. a. O. 2 b, S. 138; Behelf zur Fachprüfung für den höheren technischen Vermessungsdienst, Österr. Verein f. Vermessungswesen, Wien 1949, Heft 5, XIX. Topographische Landesaufnahme, S. 89; *Schirrmacher, P.*, Die Neubearbeitung der Topographischen Karte 1 : 25 000 als mehrfarbige Ausgabe, Mitt. R. f. L., 1940, Heft 6.
16 a. a. O. 2 b, S. 146.
16a *Collioud, O.*, Neue Wege in der Reproduktionstechnik, Schweiz. Z. f. V., 1947, Heft 10.
17 a. a. O. 2 a, S. 90; a. a. O. 2 b, S. 148.

ABSCHNITT N

Photogrammetrie

Die Photogrammetrie oder Bildmessung löst die Aufgabe, aus sog. Meßbildern, die mit besonders eingerichteten photographischen Kammern aufgenommen worden sind, die Lage und Größe der abgebildeten Gegenstände nachträglich zu bestimmen.

Wir sprechen von Erdbildmessung, Erdphotogrammetrie oder terrestrischer Photogrammetrie, wenn die Aufnahme von festen Erdstandpunkten aus erfolgte, hingegen von Luftphotogrammetrie, Aerophotogrammetrie oder Luftbildmessung, wenn die Meßbilder in Luftfahrzeugen entstanden.

Mit Unterdrückung aller Angaben über den Fortschritt der Erdbildmessung seit etwa der Mitte des 19. Jahrhunderts bis zum gegenwärtigen hochentwickelten Stand der Luftphotogrammetrie, der einem ausführlichen Lehrbuch[1] oder der einschlägigen Literatur[2] entnommen werden muß, beschränken wir uns hier auf eine gedrängte Zusammenfassung der theoretischen und praktischen Grundlagen, soweit diese für ein allgemeines Verständnis oder ein weitergehendes Studium notwendig sind.

Da in fast allen Bereichen der Wissenschaft und Technik eine Vielzahl von Aufgaben vorteilhaft durch photogrammetrische Vermessung auch schon mit einfachen Auswertungsverfahren lösbar ist, wollen wir diesen mehr Aufmerksamkeit schenken als der Beschreibung der Wirkungsweise und Handhabung von teuren Präzisionsgeräten.

Zur zweckentsprechenden Planung, Durchführung und Auswertung von photogrammetrischen Aufnahmen ist eine weitgehende Sonderausbildung erforderlich, die im notwendigen Ausmaß nur durch andauernd gleichartige fachliche Beschäftigung erworben werden kann.

Vor allem ist die stereoskopische Auswertung an die Erfüllung von physiologischen Bedingungen geknüpft, die in der erwünscht höchsten Vollendung, unter allen überhaupt räumlich gut Sehenden, fast ebenso selten ist wie unter allen guten Zeichnern der Kartenzeichner bzw. unter allen Kupferstechern oder Lithographen der zum Kartenoriginalstich Geeignete.

Im Hinblick auf diesen Umstand soll hier gerade soviel Wissen über Theorie und Praxis der Photogrammetrie dargestellt werden, daß es für das Verständnis der Verfahren ausreicht, eine kritische Entscheidung über ihre Anwendbarkeit ermöglicht und den Weg für eine weitgehendere Vertiefung in den Gegenstand ebnet.

34 Physikalisch-optische Grundlagen

Das Bild des Gegenstandes wird als Zentralprojektion durch das Objektiv der Aufnahmekammer in ihrer Bildebene entworfen, wobei sich die Größen- und Lagebeziehungen grundsätzlich aus der einfachen optischen Abbildungsgleichung [13] ergeben.

Bei den gewöhnlichen topographischen Aufgaben der Photogrammetrie sind die Dingweiten g so groß im Vergleich zur Objektivbrennweite f, daß deren Unterschied gegen die zugeordneten Bildweiten b verschwindend klein ausfällt. Die Bildebene jeder Aufnahmekammer für topographische Zwecke wird daher im unveränderlichen Objektivabstand $b = f$ konstruktiv starr festgehalten.

Kammern für Nahphotogrammetrie[3] sind auf die Bildweite zu einer mittleren Objektweite abgestimmt und erweitern die Tiefe scharfer Abbildung [15,2] durch entsprechende Abblendung des an sich kurzbrennweitigen Objektivs.

Für praktische Zwecke reicht es hin, das Projektionszentrum in der Mitte (zugleich meist Blendenebene) der modernen mehrlinsigen Objektive anzunehmen, die hinsichtlich ihrer Abbildungsfehler [14] auf den photographischen und Meßzweck weitgehend korrigiert sind[4].

Objektive für Erdbildkammern werden im allgemeinen mit sehr kleinen Blendenöffnungen verwendet, da der feste Aufnahmestandpunkt lange Belichtungszeiten erlaubt. Hingegen ist bei Luftbildaufnahme, mit Rücksicht auf die gleichmäßige Bewegung der Kammer während der Belichtung, möglichst kurz $\left(\frac{1}{150} - \frac{1}{100}\ \text{sec}\right)$ zu belichten und die hiedurch bedingte große Blendenöffnung (bis 1 : 4,2) erfordert eine besonders sorgfältige Verbesserung der Abbildungsfehler für die Randstrahlen.

Man unterscheidet Normalwinkelobjektive mit einem Bildwinkel von 50° bis 60° und Weitwinkelobjektive, die ein Gesichtsfeld von mehr als 90° abbilden.

Von bestehenden Kammerarten werden die folgenden Bildformate, zugeordneten Brennweiten f und Objektivtypen mit Angabe der größten Blende als Auswahl genannt.

Erdbildkammern

6,5 × 9 cm, $f = 5{,}5$ cm, *Zeiß*-Topogon 1 : 6,5,
10 × 15 cm, $f = 16{,}5$ cm, *Wild*-Objektiv C 1 : 11,
13 × 18 cm, $f = 19$ cm bzw. $f = 16$ cm, *Zeiß*-Orthoprotar 1 : 25.

Luftbildkammern

Normalwinkelobjektive

10 × 15 cm, $f = 16{,}5$ cm, *Wild*-Objektiv C 1 : 5,
12 × 12 cm, $f = 13{,}5$ cm, *Zeiß*-Orthometar 1 : 4,5,
13 × 13 cm, $f = 16{,}5$ cm, *Wild*-Objektiv C 1 : 5,
15 × 15 cm, $f = 17$ cm, *Wild*-Spezialobjektiv Aviotar 1 : 4,2,
18 × 18 cm, $f = 21$ cm, *Zeiß*-Orthometar 1 : 4,5,
18 × 18 cm, $f = 21$ cm, *Wild*-Normalobjektiv 1 : 4,5 bzw. Aviotar 1 : 4,2,
18 × 18 cm, $f = 25$ cm, *Zeiß*-Tessar 1 : 4,5.

Weitwinkelobjektive

18 × 18 cm, $f = 10$ cm, *Zeiß*-Topogon 1 : 6,3,
18 × 18 cm, $f = 11{,}5$ cm, *Wild*-Weitwinkelobjektiv 1 : 5,5,
30 × 30 cm, $f = 20$ cm, *Zeiß*-Topogon 1 : 6,3.

Dem Vernehmen nach ist knapp vor dem Ende des zweiten Weltkrieges in Deutschland ein Super-Weitwinkelobjektiv von 130° Bildwinkel mit der Brennweite 7,5 cm und der Bezeichnung Pleon erschienen.

Durch Ansatz von sog. Stutzen mit Objektiven größerer Brennweite (wie z. B. *Zeiß*-Triplet 1:4,8, $f = 50$ cm für Format 18 × 18 cm oder *Zeiß*-Tessar 1:5, $f = 50$ cm und $f = 75$ cm für Format 30 × 30 cm) wirken die betreffenden Aufnahmegeräte als Fernkammern.

Weiterhin bestehen hochwertigste Objektive zu Kammern für Sonderzwecke, nämlich

Stereometrische Doppelkammern für Nahaufnahmen

6,5 × 9 cm, $f = 5{,}5$ cm, *Zeiß*-Tessar 1 : 8 oder 1 : 12,5,
6,5 × 9 cm, $f = 9$ cm, *Wild*-Objektiv 1 : 12.

Fernkammern

13 × 18 cm, $f = 75$ cm, *Wild*-Infrarot-Triplet 1:4,5,
13 × 18 cm, $f = 300$ cm, *Zeiß*-Tessar 1: 25.

Die Belichtung erfolgt bei Erdbildkammern durch Abheben des Objektivdeckels, bei Nahaufnahmen mit stereometrischen Doppelkammern über einen Zentralverschluß mit beliebiger Dauer bzw. zwischen meist 1—$^1/_{200}$ sec Ablaufgeschwindigkeit.

Für Luftaufnahmekammern wird die absolute Gleichzeitigkeit der Belichtung des gesamten Bildfeldes ebenfalls durch Zentralverschlüsse

gewährleistet, deren Kugellamellen meist zwischen den Linsen des Objektivs liegen[5].

Die im allgemeinen sehr kontrastreichen Beleuchtungsverhältnisse bei terrestrischen Aufnahmen fordern ausgleichende, d. h. weich arbeitende, photographische Schichten[6].

Die praktisch mögliche längere Belichtungszeit gestattet die Anwendung von wenig lichtempfindlichen, daher sehr feinkörnigen Emulsionen mit einem besonders hohen Auflösungsvermögen.

Ähnlich wie die Zielgenauigkeit des menschlichen Auges [15,1] eine Funktion seines Trennungsvermögens darstellt und von der Größe der Netzhautzellen abhängt, wird auch das Auflösungsvermögen einer photographischen Schichte durch gröbere Bromsilberkörnung verringert. Mit steigender Korngröße wächst die Lichtempfindlichkeit, so daß hochempfindliche Schichten ein geringeres Auflösungsvermögen besitzen als wenig empfindliches Material mit feiner Körnung.

Luftbilder müssen indessen einen durch Dunst und kurzwellig-blaufarbiges Streulicht weitaus gleichmäßigeren Helligkeitsverlauf erfassen, mit Hilfe von hart arbeitenden Schichten steiler Gradation.

Wegen der nur sehr kurzen Belichtungszeit ist außerdem größtmögliche Empfindlichkeit gefordert, und die hiemit verbundene gröbere Körnung der Emulsion bedingt ein etwas geringeres Auflösungsvermögen als jenes, das die photographischen Schichten für erdphotogrammetrische Zwecke aufweisen.

Erfahrungsgemäß darf das Auflösungsvermögen[7] von Fliegerbildemulsionen mit etwa 0,03 mm, bei Erdbildemulsionen mit 0,02 mm und bei schwächstempfindlichen Chlorsilberschichten für Reproduktionszwecke mit 0,01 mm angenommen werden.

Obwohl die Farbenempfindlichkeit von modernen orthochromatischen bzw. panchromatischen photographischen Schichten schon recht gut auf die vorherrschenden Farben des Aufnahmegegenstandes, d. h. den gelben bzw. grünen Teil des Spektrums, abgestimmt (sensibilisiert) sind, bewirkt man durch Meßfilter eine weitergehende Abschirmung von unerwünschten Farben, insbesondere des oben erwähnten Dunst- oder Luftlichtes. Diese Meßfilter werden aus in der Masse gefärbtem optischem Glas mit einer Genauigkeit von etwa $\pm 3''$ planparallel geschliffen.

Es ist indessen sehr wohl zu beachten, daß die Farbenempfindlichkeit einer photographischen Schichte nur durch ihre Sensibilisierung, nicht aber durch das verwendete Filter bestimmt

wird. Man kann daher auf einer Infrarotemulsion[8] ohne Filter oder mit einem Gelbfilter durchaus Ergebnisse erhalten, die von denen auf einer panchromatischen Schichte kaum zu unterscheiden sind. Nie aber wird die Verwendung eines Infrarot- (Rubin- oder Schwarz-) Filters zu einer nur panchromatischen Emulsion ultrarote Strahlung zur Wirkung bringen.

Während für terrestrische Aufnahmen meist Spiegelglasplatten als Träger der lichtempfindlichen Schichte benutzt werden, arbeiten die modernen Luftbildkammern, aus Gründen der Gewichtsersparnis, im allgemeinen mit Film. Die dem Entwicklungs- und Trocknungsvorgang zugeordnete regelmäßige Schrumpfung von modernen Fliegerbildfilmen beträgt bis zu 3 Promille und wird bei der Auswertung im allgemeinen durch Annahme einer entsprechenden Brennweitenverkürzung berücksichtigt. Die unregelmäßige Filmschrumpfung erreicht etwa die Größe des Auflösungsvermögens und geht mit ihrem vollen Betrag in die unregelmäßigen Auswertungsfehler ein[9].

Gewisse Spezialgeräte, wie z. B. die Luftbildpanoramenkammer von *Aschenbrenner*[10], sind aus konstruktiven Gründen für Plattenverwendung eingerichtet.

Insbesondere in der Schweiz wird, zur Ausschaltung der erwähnten störenden Filmschrumpfung und Erreichung höchster Genauigkeit, auch bei Luftaufnahmen die Platte als Emulsionsträger bevorzugt. Als Aufnahmegerät für solche Präzisionsarbeiten dient die von der A. G. *Wild* in Heerbrugg geschaffene vollautomatische Plattenkammer *Wild* RC 7, während die vollautomatische Reihenbildfilmkammer *Wild* RC 5 ebenso wie sämtliche Reihenbildkammern von *Zeiß-Aerotopograph* in Jena, höchst schrumpfungsfreien Film (z. B. *Agfa-*, *Perutz-*, *Zeiß-Ikon-*, *Gevaert*-Fliegerfilm u. a.) als Aufnahmematerial benutzen.

Die von Filmen oder Platten auf gewöhnlichem lichtempfindlichem Papier hergestellten Positivabzüge sind wegen ihrer regellosen Schrumpfung nur für Übersichtszwecke verwendbar. Abzüge auf *Correctostat*papier (mit eingelegter dünner Aluminiumfolie) schrumpfen verhältnismäßig wenig und können daher auch für Messungen mit beschränkter Genauigkeit benutzt werden.

35 Geometrische Grundlagen[11]

Jedes photographische Bild eines Gegenstandes ist dessen Zentralprojektion durch das Objektiv auf die Bildfläche. Da der Endzweck jeder Vermessung in der Herstellung von Plänen und Karten, also von Parallelprojektionen, liegt, vermittelt die Photogrammetrie

die Umwandlung der Zentralprojektion des Meßbildes in die Parallelprojektion der geforderten Karte.

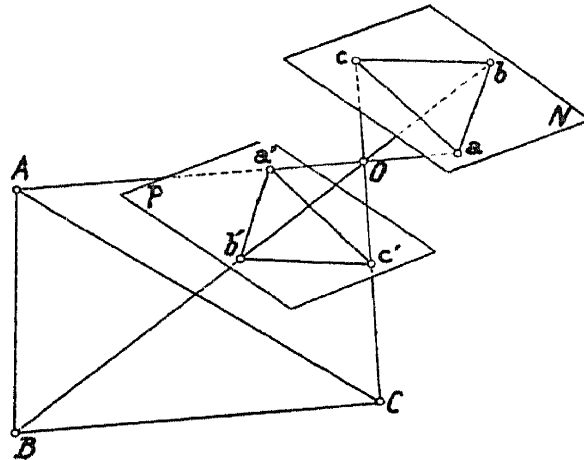



Abb. 194.

Die Geländepunkte *A, B, C* werden durch das Objektiv *O* der Aufnahmekammer in den projektiv zugeordneten Punkten *a, b, c* der Bildebene (Negativebene *N*) entworfen. Dieses Bild ist umgekehrt, seitenverkehrt und kongruent zum entsprechenden Bild *a', b', c'* der zu *O* gleichabständigen Positivebene *P* (Abb. 194).

35,1 Die innere und äußere Orientierung von Einzelbildern, die gegenseitige und absolute Orientierung von Bildpaaren

Die Winkel- bzw. Richtungsbeziehungen zwischen einem Gegenstand und einem einzigen von ihm aufgenommenen Meßbild sind nur dann wiederherstellbar, wenn einerseits die Lage des Projektionszentrums *O* zur Negativebene *N*, als sog. innere Orientierung[12] des Bildes in der Kammer, genau bekannt ist und andererseits die 6 Elemente der sog. äußeren Orientierung[13] vorliegen, nämlich die drei Raumkoordinaten des Projektionszentrums und jene weiteren drei Angaben, mit denen die Aufnahmerichtung im Raum festgelegt wird.

Faßt man zwei derartige Meßbilder zu einem Bildpaar zusammen bzw. auch eine Aufeinanderfolge von solchen Paaren, so bezeichnen wir als absolute Orientierung[14] jene Stellung, aus der im Verlauf des Auswertungsvorganges die Gesamtheit der abgebildeten Gegenstände maßstäblich richtig und lagetreu wiederherstellbar ist.

Zur absoluten Orientierung eines Bildpaares ist demnach die Kenntnis von insgesamt 12 Unbekannten erforderlich, nämlich die für jedes Einzelbild notwendigen 6 Elemente seiner äußeren Orientierung.

Praktisch wird als Vorstufe die sog. *gegenseitige Orientierung*[15] der beiden Strahlenbündel herbeigeführt. Da zur eindeutigen projektiven Zuordnung zweier Flächen — hier des Geländes und eines ihm ähnlichen Modells — die Zuordnung von je fünf Punkten auf ihnen notwendig ist, wird sich die Gesamtheit aller zusammengehörigen Strahlen in den Punkten der Modelloberfläche schneiden, wenn fünf zusammengehörige Strahlen durch den Vorgang der gegenseitigen Orientierung tatsächlich zum Schnitt gebracht worden sind.

Das Ergebnis ist ein *subjektiv* oder *objektiv* betrachtbares Raummodell in beliebigem Maßstabsverhältnis und in willkürlicher Lage[16].

Durch eine Reduktion auf das gewünschte Maßstabsverhältnis, durch drei Parallelverschiebungen in Richtung der Koordinatenachsen sowie drei Drehungen um diese Achsen, insgesamt also durch Aufsuchung der restlichen 7 Elemente, entsteht schließlich das *absolut* orientierte Raummodell[17].

Die *innere Orientierung* wird durch die Koordinaten des Projektionszentrums O in bezug auf ein rechtwinkliges Raumsystem ξ, η, ζ angegeben, dessen in der Bildebene liegendes Achsenkreuz ξ, η durch die Verbindung von gegenüberliegenden Randmarken v' v' bzw. h' h' (Abb. 195) entsteht, die sich am Anlegerahmen der Kammer befinden und bei der Belichtung auf der sattanliegenden Schichte abbilden. Den Schnittpunkt M der Achsen ξ, η bezeichnet man als *Bildmittelpunkt*, den Fußpunkt H des Lotes ζ als *Bildhauptpunkt* (mit den Koordinaten ξ_H, η_H) und verlangt, daß bei einer *berichtigten* Meßkammer die Forderung $\xi_H = 0$, $\eta_H = 0$, $\zeta = f$ erfüllt ist.

Diese *Konstanten der inneren Orientierung*, nämlich die tatsächlich vorhandenen Werte ξ_H, η_H, ζ, werden durch direkte

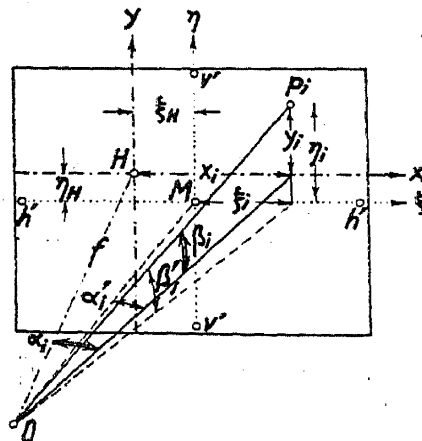



Abb. 195.

Messung der Horizontalwinkel α_i und Höhenwinkel β_i nach mehreren Geländepunkten P_i ermittelt, u. zw. im Vergleich [II 38] mit jenen zugehörigen Winkeln α_i', β_i', die man aus den gemessenen Bildkoordinaten ξ_i, η_i derselben Punkte nach später zu nennenden Formeln berechnet[18].

Zur äußeren Orientierung der Aufnahmeachse HO ist vorerst die Festlegung des Projektionszentrums O notwendig, etwa durch Angabe seiner beiden geodätischen Koordinaten und seiner Seehöhe, sowie die Bestimmung der Raumlage von HO in bezug auf eine durch O gehende frei wählbare, jedoch waagrechte Grundrichtung OL.

Den Horizontalwinkel zwischen HO und dieser Grundrichtung bezeichnet man als Verschwenkung φ.

Die Lage von HO gegen die Lotlinie oder den Horizont von O wird als Neigung bzw. Kippung ω durch Zenit- (Nadir-) Distanz oder Höhenwinkel angegeben. Das letzte Element der äußeren Orientierung ist die Verkantung oder Rotation $\varkappa$, nämlich jener Winkel, um den die Bildachse ξ im Augenblick der Belichtung gegen ihre Soll-Lage verdreht war. Wir sprechen von positiver Kantung, wenn sich die positive ξ-Achse aus der Soll-Lage durch deren Verdrehung im Sinne des Uhrzeigers ergibt.

Die absolute Orientierung eines Bildpaares oder einer Reihe von Meßbildern, mit genau bekannter innerer und wenigstens näherungsweise gegebener äußerer Orientierung, wird in der modernen Praxis durch empirisch-mechanische Verfahren herbeigeführt, u. zw. mit Geräten, die man u. U. auch zur anschließenden Detailauswertung benutzt. Sehr oft aber, u. zw. im Sinne der modernen Bestrebungen nach möglichst wirtschaftlicher Ausnützung der sehr teuren hochpräzisen Instrumente, verwendet man die mit diesen erhaltenen Elemente der absoluten Orientierung als Unterlagen für die topographische Detailarbeit mit einfacheren und daher billigeren Apparaten, deren etwas geringere Genauigkeit indessen immer noch voll dem angestrebten Zweck entspricht.

Ein einzelnes Meßbild vermittelt, über die Bestimmung der Koordinaten ξ_i, η_i von Bildpunkten p_i, im Verein mit den Konstanten ξ_H, η_H, f der inneren Orientierung, lediglich die Unterlagen für die Berechnung der Horizontal- und Höhenwinkel vom Projektionszentrum O nach den Zielpunkten P_i.

Hingegen ermöglicht die zusätzliche Angabe der äußeren Orientierung von zwei Meßbildern mit den Projektionszentren O_1, O_2 (Abb. 196), auf denen die Bildkoordinaten derselben Punkte p_i ermittelt sind, die Bestimmung der Raumlage dieser Punkte durch Vor-

wärtseinschnitt mit einer bekannten Basis $\overline{O_1 O_2}$ und den aus Bildkoordinaten berechneten Winkeln. Dieses ursprünglichste, heute kaum mehr gebräuchliche Verfahren führte daher die Bezeichnung Einschneide- oder Meßtischphotogrammetrie[19].

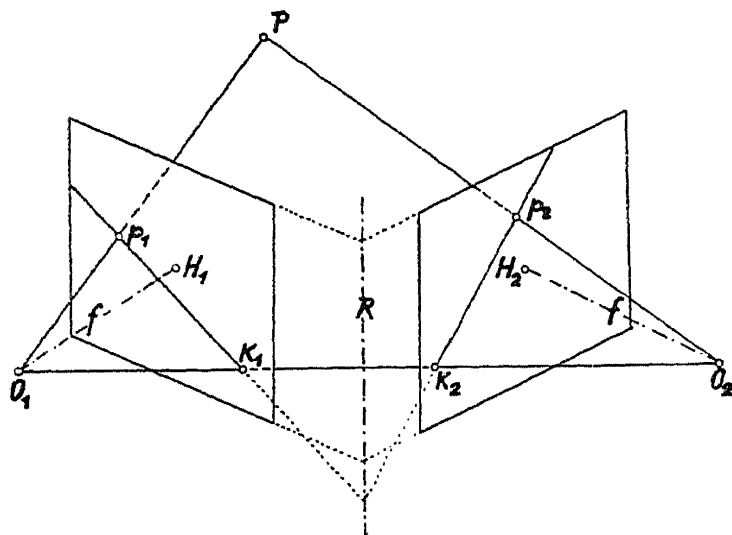



Abb. 196.

Wenn man unter Erfüllung bestimmter Voraussetzungen [36], das Bildpaar so aufnimmt, daß bei seiner späteren binokularen Betrachtung das absolut orientierte optische Modell des Aufnahmegegenstandes erblickt und mit geeigneten Hilfsmitteln vermessen werden kann, so ist der Arbeits- und Aufgabenbereich der Stereophotogrammetrie oder Raumbildmessung abgegrenzt.

35,2 Die Perspektive des Meßbildes

Zur weiteren Verfolgung gegebener geometrischer Zusammenhänge erwähnen wir einige wichtige Schlußfolgerungen aus den Sätzen der perspektivischen Projektion.

1. Da sich die Bilder von parallelen Geraden in ihrem Fluchtpunkt schneiden, ist der Hauptpunkt H eines Meßbildes der Fluchtpunkt aller zur Aufnahmeachse OH parallelen Geraden.
2. Alle Geraden bzw. Strecken, die zur Bildebene und zueinander parallel liegen, verbinden ihre unendlich fernen Fluchtpunkte und werden als parallele Gerade bzw. Strecken abgebildet. Das Maßstabsverhältnis zwischen einer solchen Strecke und ihrem Bild ist eine Funktion des Streckenabstandes vom Projektionszentrum.
3. Die unendlich fernen Fluchtpunkte aller horizontalen Geraden liegen im Bildhorizont.
4. Alle lotrechten Geraden schneiden sich in ihren unendlich fernen Fluchtpunkten, dem Bildzenitpunkt Z bzw. Bildnadirpunkt N.

5. Sind zwei von den Zentren P' bzw. P ausgehende Strahlenbüschel perspektivisch zugeordnet (Abb. 197), so werden sie von einem gleichartig perspektivisch zugeordneten, d. h. von einem Punkt E_0 auf $A_0\,D_0$ ausgehenden, Strahlenpaar G' bzw. G so geschnitten, daß das Doppelverhältnis λ der einander entsprechenden Schnittpunkte konstant ist, nämlich

$$\frac{\overline{B'A'}}{\overline{B'C'}} : \frac{\overline{D'A'}}{\overline{D'C'}} = \frac{\overline{BA}}{\overline{BC}} : \frac{\overline{DA}}{\overline{DC}} = \frac{\overline{B_0A_0}}{\overline{B_0C_0}} : \frac{\overline{D_0A_0}}{\overline{D_0C_0}} = \lambda,$$

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} : \frac{\sin(\alpha+\beta+\gamma)}{\sin\gamma} = \lambda.$$

Abb. 197.

6. Wir betrachten schließlich noch die folgenden, aus der Abb. 196 ablesbaren geometrischen Beziehungen.

Die von den Projektionszentren O_1, O_2 begrenzte Basis durchstößt die Bildebenen B_1, B_2 in ihren sog. Kernpunkten K_1, K_2.

Jede durch die Basis und einen Punkt P gelegte Kernebene schneidet die Bildebenen in Kernstrahlen, nämlich K_1p_1 bzw. K_2p_2. Die Schnittpunkte aller zugeordneten Kernstrahlen liegen auf der Schnittlinie R der beiden Bildebenen.

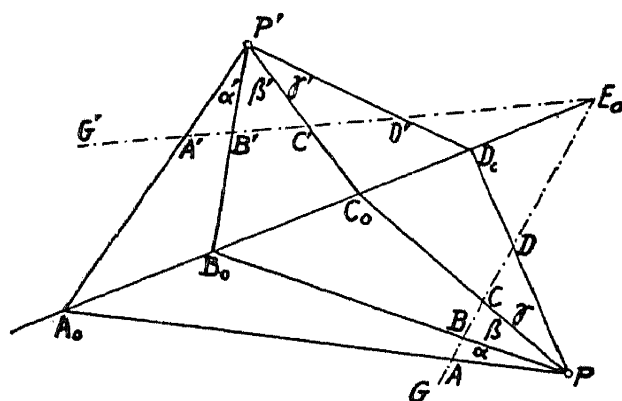
Diese Eigenschaften dienen zur Klärung verschiedener später zu behandelnden Fragen und können u. a. auch zur Aufsuchung bzw. Identifizierung von Bildpunkten benutzt werden, die auf einem Bild gegeben, aber am anderen nicht eindeutig erkennbar sind.

Die bis jetzt erwähnten Benennungen von Punkten und Linien am Meßbild, mit besonders hervorzuhebenden Eigenschaften, ergänzen wir nun noch durch folgende Fachausdrücke für einige wichtige Bezugsrichtungen.

Als Bildhauptsenkrechte oder -hauptvertikale bezeichnet man die Schnittlinie der Bildebene mit der durch die Aufnahmeachse gelegten lotrechten Ebene.

Der Bildhorizont ist die Spur des Horizontes durch das Projektionszentrum mit der Bildebene. Der Schnittpunkt dieses Bildhorizontes mit der Bildhauptsenkrechten heißt Horizonthauptpunkt.

Legen wir durch den Bildhauptpunkt H eine Parallele zum Bildhorizont, so entsteht die Bildhauptwaagrechte.

Der bereits genannte Bildnadirpunkt ergibt sich bei der Durchstoßung der durch das Projektionszentrum gehenden Lotlinie mit der Bildebene, und ihm entspricht am Gelände bzw. seiner Kartendarstellung der Gelände- bzw. Kartennadirpunkt.

35,3 Bestimmung von Richtungen und Winkeln aus Meßbildern [20]

Die vorhin erwähnte Möglichkeit der Ermittlung von Horizontal- und Höhenwinkeln aus gemessenen Bildkoordinaten ξ_i, η_i verfolgen wir an Hand der Abb. 195.

Während für überschlägige Zwecke nach Einzeichnung der Randmarkenverbindungen auf einem Positivabzug die Bildpunktkoordinaten ξ_i, η_i mit einfachen Hilfsmitteln abgegriffen oder auch unter einem Glasmaßstab abgelesen werden können, bestehen für genaueste Auswertung von Negativen besondere Geräte, sog. Komparatoren[21], deren Meßgenauigkeit durch das Auflösungsvermögen der photographischen Schicht begrenzt ist.

Die ermittelten Koordinaten ξ_i, η_i verwandelt man, mit den durch die innere Orientierung gegebenen Koordinaten ξ_H, η_H des Hauptpunktes H, in die auf ihn als Ursprung bezogenen Koordinaten x_i, y_i.

Bei Meßbildern, die mit waagrechter Achse und ohne Kantung ($\varkappa = 0$) aufgenommen sind, erhalten wir die gesuchten Winkel α_i, β_i aus den Formeln

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{x_i}{f}, \quad \operatorname{tg} \beta_i = \frac{y_i}{\sqrt{x_i^2 + f^2}}.$$

Hier ist für f jener Wert einzusetzen, der sich bei Bestimmung der Konstanten der inneren Orientierung ergeben hat.

Konnte die unverkantete Aufnahme ($\varkappa = 0$) nicht mit lotrechter Bildebene ($\omega = 0$) ausgeführt werden, dann weisen die in Abb. 198 dargestellten Verhältnisse auf den folgenden Rechnungsweg

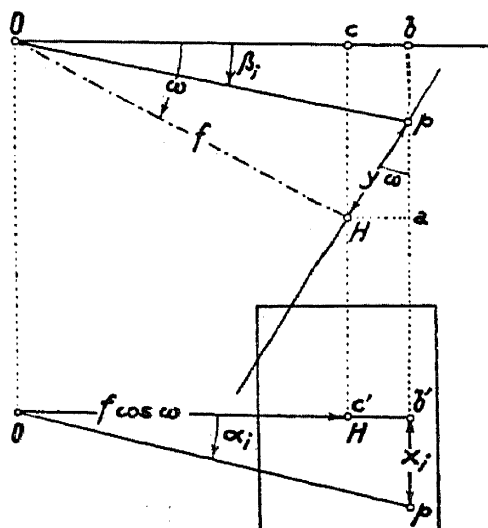



Abb. 198.

Die Ordinate y und die beiden Buchstaben p sind in der Abbildung mit dem Index i zu versehen.

$$\text{Grundriß: } \operatorname{tg} \alpha_i = \frac{x_i}{\overline{Ob'}}, \quad \overline{Ob'} = \overline{Ob} \text{ (Aufriß)} = \overline{Oc} + \overline{cb},$$
$$\overline{Oc} = f \cos \omega, \quad \overline{cb} = \overline{Ha} = y_i \sin \omega,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{x_i}{f \cos \omega + y_i \sin \omega};$$

$$\text{Aufriß: } \operatorname{tg} \beta_i = \frac{\overline{p_i b}}{\overline{Op_i} \text{ (aus Grundriß)}}, \quad \overline{Op_i} \text{ (aus Grundriß)} = \frac{\overline{Ob}}{\cos \alpha_i}$$

$$\overline{p_i b} = \overline{Hc} - \overline{ap_i} = f \sin \omega - y_i \cos \omega,$$

$$\operatorname{tg} \beta_i = \frac{f \sin \omega - y_i \cos \omega}{f \cos \omega + y_i \sin \omega} \cos \alpha_i .$$

Auf die Darstellung der Winkelbestimmung aus gekippten ($\omega \neq 0$) und gekanteten ($\varkappa \neq 0$) Meßbildern verzichten wir im gegebenen Rahmen mit der Begründung, daß man diese Sonderfälle, wegen der Kompliziertheit ihrer formelmäßigen Lösung, möglichst vermeidet.

Die bei Abweichungen vom Normalfall [37,11] nicht mehr einfache Winkelermittlung als Grundelement der Einschneidephotogrammetrie, führte schon 1871 *Porro* und 1896 *Koppe* zur unmittelbaren Entnahme von Winkeln aus Meßbildern, mit Hilfe eines sog. Bildmeßtheodolites[22].

Zur Winkelmessung nach dem Prinzip von *Porro-Koppe* wird das entwickelte Negativ in eine Kammer eingelegt, deren Objektiv dem der Aufnahmekammer entspricht. Das auf unendliche Gegenstandsweite eingestellte Fernrohr eines theodolitähnlichen Instrumentes kann man nun durch das Kammerobjektiv hindurch auf die Punkte des durchleuchteten Negativs richten und daher unmittelbar auch Horizontal- und Höhenwinkel messen, falls das Negativ dieselbe Orientierung wie bei der Aufnahme aufweist.

Die hier kurz angedeutete Art der Winkelmessung mit einem eigenen Bildmeßtheodolit ist heute bedeutungslos geworden, dagegen ist er ein wichtiger Bestandteil jener modernen automatischen Auswertegeräte [38,6], die das Prinzip von *Porro-Koppe* anwenden.

36 Stereoskopisches Sehen und Messen[23]

Die verhältnismäßige Umständlichkeit der Einschneidephotogrammetrie, insbesondere auch die Schwierigkeit, die zu bestimmenden Punkte auf den verschiedenen Bildern als identisch zu erkennen, haben sehr bald zur Entwicklung wirtschaftlicherer und genauerer Verfahren geführt, die wesentlich durch die menschliche Fähigkeit zur unmittelbaren Raumwahrnehmung und Raumtiefenerfassung beim binokularen Sehen begründet sind.

Unter Bezug auf die in [15,3] gegebene ausführliche Darstellung und den dortigen Hinweis, daß mit normalen freiblickenden Augen der Bereich des räumlichen Sehens in der Ferne durch den stereoskopischen Radius G beschränkt wird, erwähnen wir noch ergänzend die untere Grenze von mit freien Augen erfaßbaren Tiefenunterschieden, nämlich die deutliche Sehweite w. Ihr entspricht ein größter Konvergenzwinkel der Augenachsen von etwa $\gamma_{max} \doteq 15^0$. Eine künstliche Verstärkung der Raumempfindung bzw. Vergrößerung der Grenzentfernung entsteht durch Steigerung der totalen Plastik (Abb. 39).

Bietet man jedem Auge das ihm zugehörige von zwei Meßbildern dar, die vom gleichen Gegenstand nach Art der Abb. 37 b aufgenommen wurden, dann rekonstruiert das Gehirn aus den Teilbildern das Raummodell, so wie bei der direkten Betrachtung des Gegenstandes selbst, die in Abb. 37 a dargestellt ist.

Diese Rekonstruktion kann indessen störungsfrei nur dann bewältigt werden, wenn die Teilbilder und ihre Darbietung die folgenden Bedingungen erfüllen. Hiebei fallen Schwierigkeiten der Identifizierung gleicher Punkte auf verschiedenen Bildern fort, da das Gehirn scharf und einwandfrei nur aus zusammengehörigen Bildpunkten den entsprechenden Raumpunkt herstellt.

1. Die Bilder müssen von verschiedenen Standpunkten aus aufgenommen sein, die jedoch voneinander nicht so weit abstehen dürfen, daß die Rekonstruktion, wegen eines übermäßigen Konvergenzzwanges der Augenachsen, nicht mehr eingeleitet werden kann.
2. Die Bilder sind gesondert in richtiger Lage vorzulegen, d. h. linkes Bild dem linken und rechtes Bild dem rechten Auge, unter Verwendung geeigneter Stereoskope. Durch Übung ist der Raumeindruck auch bei freiäugiger Betrachtung herstellbar.

   Bei Vertauschung der Bilder tritt Pseudoskopie ein [15,3], [38,65].
3. Die Darbietung muß in solcher Art erfolgen, daß das Gehirn nur Horizontalparallaxen [15,3] (Abb. 37) in der Richtung des Augenäquators zu verarbeiten hat, nicht aber Höhenparallaxen in Richtung der Augenmeridiane. Solche Vertikalparallaxen erschweren mindestens oder verhindern überhaupt die Entstehung des Raumeindruckes.

   Man überzeugt sich hievon durch seitliche Neigung des Kopfes (Kantung der Augenbasis) bei der Betrachtung eines richtig liegenden Bildpaares.

Bei Erfüllung dieser Bedingungen ist dem Gehirn die einwandfreie Rekonstruktion des Raummodells leicht möglich, denn dieses unterscheidet sich in keiner Weise von dem wirklichen Raum, den das zwanglos freiblickende Augenpaar bei aufrechter Kopfhaltung wahrnimmt.

Sind in einem richtig vorgelegten Bildpaar sehr große Entfernungsunterschiede in derselben Richtung vorhanden, dann vermag das Gehirn die plötzliche Änderung der zugeordneten Horizontalparallaxen nicht augenblicklich zu bewältigen, und es tritt eine Störung der Raumempfindung ein, die erst bei allmählicher Überbrückung des Tiefenunterschiedes verschwindet.

Alle Horizontalparallaxen p eines richtig orientierten Bildpaares können entweder rein geometrisch gedeutet werden, nämlich als die Unterschiede der auf den Einzelbildern ermittelten Abszissen identischer Punkte, oder aber physiologisch, als Anlaß zur Entstehung der perspektivisch verschiedenen Netzhautbilder bei binokularer Betrachtung des Bildpaares.

Die erste, hier nur der Vollständigkeit wegen erwähnte, in der Praxis kaum mehr oder nur in Einzelfällen verwendete Möglichkeit ist lediglich eine andere Fassung des Begriffes der Einschneidephotogrammetrie, deren Hauptmangel sich aus der bei nur monokularer Betrachtung fast immer schwierigen Feststellung tatsächlich identischer Bildpunkte ergibt.

Sind in einem Bildpaar, das mit horizontalen und zur horizontalen Basis b normalen Achsen aufgenommen wurde, die Abszissen x_1, x_2 der identischen Bildpunkte gemessen, dann können aus Abb. 199 die folgenden Beziehungen abgelesen werden.

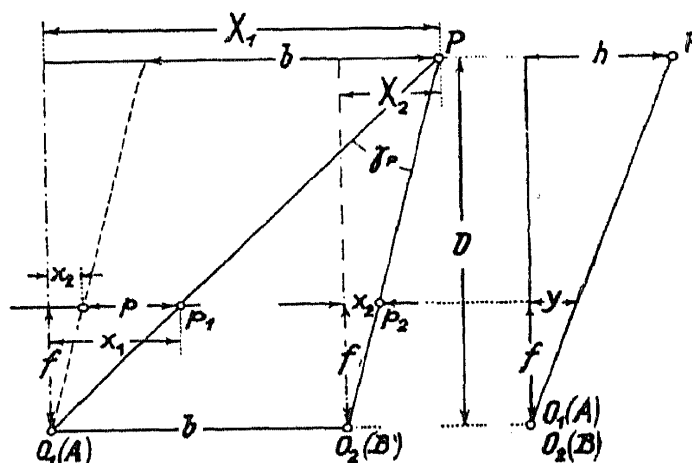



Abb. 199.

$$X_1 : X_2 : D = x_1 : x_2 : f, \;\; X_1 - X_2 = b, \;\; x_1 - x_2 = p,$$

$$(X_1 - X_2) : D = (x_1 - x_2) : f, \;\; D = \frac{X_1 - X_2}{x_1 - x_2} f = \frac{b}{p} f, \;\; h = D \frac{y}{f} = \frac{b}{p} y.$$

Zufolge der monokular ermittelten Werte x_1, x_2 ist die geometrische Parallaxe p mit den entsprechenden monokularen Einstellfehlern behaftet.

Wird hingegen das dem Bildpaar zugeordnete Raummodell beidäugig betrachtet und die hohe Empfindlichkeit der Netzhaut für die Verschiedenheit der auf ihr entworfenen Bilder ausgenützt, so ergibt sich die Möglichkeit, die geforderte Parallaxe p wesentlich verschärft mit Hilfe eines sog. Stereomikrometers[24] zu bestimmen.

Denken wir uns nämlich über den Punkten a_1, a_2 der Teilbilder von Abb. 37 b je eine gleichartige, z. B. keilförmige Marke angeordnet, so verschmelzen bei beidäugiger Betrachtung die Einzelbilder zu einer im Punkt A des Raumes schwebenden Raummarke. Hält man eine der beiden Marken, z. B. die linke, fest und entfernt die andere rechte Marke seitlich durch Drehung der mit ihr verbundenen Mikrometerschraube, so scheint das Raumbild in die Tiefe zu rücken. In dieser Art kann die Raummarke in jedem beliebigen Punkt des Raumes aufgesetzt werden, gewissermaßen als wanderndes Signal eines dauernden Vorwärtseinschnittes, wobei der Abstand D des bezeichneten Punktes durch die zugehörige Parallaxe gegeben ist, die an der Meßschraube des Stereomikrometers abgelesen wird.

Für die scheinbare Markenbewegung im Raum ist es natürlich völlig gleichgültig, ob über dem festliegenden rechten Bild tatsächlich die Marke verschoben wird oder ob man diese Marke festhält und mit dem Mikrometer das darunter befindliche Bild bewegt.

Die Verwendung der wandernden Marke zur stereoskopischen Distanzmessung wurde bereits in dem allgemeinen Überblick auf die Verfahren der Entfernungsmessung [23] erwähnt.

Als Hilfsmittel zur subjektiven, d. h. nur dem betreffenden Beobachter möglichen Rekonstruktion und Betrachtung des Raummodells zu einem gegebenen Bildpaar dienen Stereoskope (Raumgläser), u. zw. entweder in der Form von Linsenstereoskopen oder von Spiegelstereoskopen[25].

Eine objektive, d. h. gleichzeitig auch mehreren Beobachtern zugängliche, Darbietung des optischen Modells, erreicht man u. a. durch Betrachtung oder Projektion von Anaglyphenbildern[26]. Die beiden Teilbilder werden in den Komplementärfarben rot-grün in bestimmter Art übereinander gedruckt oder projiziert und durch eine Brille mit gleichfarbigen grün-roten Gläsern oder Folien betrachtet. Jedes Auge erhält so einfarbige Bilder dargeboten, die das Gehirn in ein schwarzgetönt erscheinendes Raumbild umwandelt.

Wird jedem Auge kurzfristig abwechselnd durch sog. Blin-

k e n[27] über synchron arbeitende Blenden das ihm zugehörige Teilbild sichtbar gemacht, so erfährt hiedurch das Gehirn gleichfalls den Impuls zur Rekonstruktion des optischen Modells.

Die stereoskopische Meßgenauigkeit[28] in dem optischen Modell ist wesentlich abhängig von dem Auflösungsvermögen der photographischen Emulsion, der totalen Plastik [15,3] des Betrachtungsgerätes und der Übung bzw. Eignung des Beobachters für räumliche Tiefenunterscheidung. Bei voller Ausnutzung des Auflösungsvermögens von rund 0,01—0,03 mm [34], kann jeder Bildpunkt einäugig (monokular) mit dieser Genauigkeit eingestellt werden, was bei einer Aufnahmebrennweite von $f = 200$ mm einem Richtungsfehler von rund 20″—30″ entspricht.

Durch beidäugige Betrachtung bzw. Einstellung der Raummarke auf einen Punkt des Raummodells ergibt sich zufolge des verschärften räumlichen Sehvermögens eine beträchtliche Genauigkeitssteigerung. Der Fehler einer stereoskopischen Richtungsbeobachtung wird etwa 10″—15″ betragen [15,3].

Wie bereits erwähnt wurde, ist es von besonderer Bedeutung, daß bei binokularer Betrachtung die Identifizierungsfehler wegfallen, die bei monokularer Ausmessung verschlechternd wirken.

Diese Vorteile der stereoskopischen Auswertung führten nach ihrer Entdeckung natürlich sogleich zu einer fast vollständigen Verdrängung der bis dahin allein möglichen monokularen Messungen auf Einzelbildern und begründeten die rasche Entwicklung der Stereophotogrammetrie.

Der durch Verbindung von Stereoskop und Stereomikrometer entstandene Stereokomparator[29] (Abb. 200)

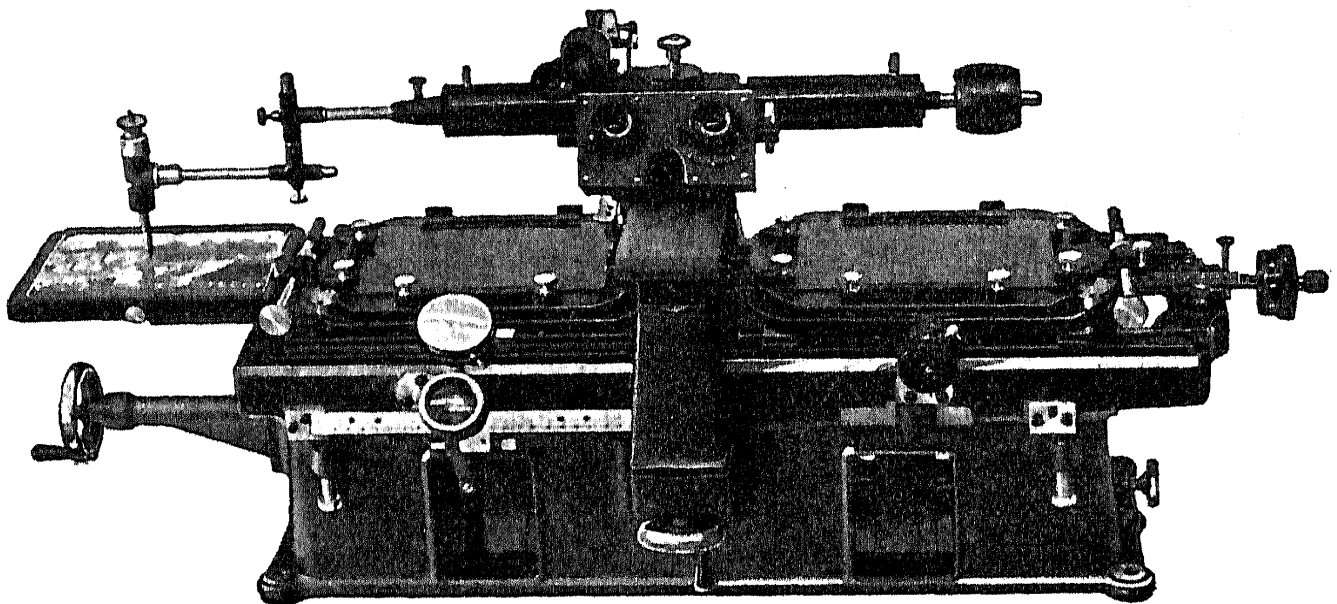



Abb. 200. *(Zeiß-Aerotopograph.)*

ermöglichte bereits die punktweise stereoskopische Vermessung eines optischen Modells mit Hilfe der wandernden Marke.

An dem mit der Abb. 200 dargestellten Stereokomparator von *Zeiß-Aerotopograph* erkennen wir die beiden Plattennegative und das links anschließend aufgelegte Positivbild mit dem zur Aufsuchung oder Anmerkung von Punkten dienenden Zeichenstift. Die Einstellung der Raummarke auf einen Punkt des Raummodells zur Ermittlung der drei Größen x_1, $p = x_2 - x_1$, y (Abb. 199) erfolgt mit Hilfe des linken Handrades (Ablesung x_1 an der unterhalb der linken Platte sichtbaren x-Teilung mit zugehöriger Lupe), der rechts vorstehenden und auf die rechte Platte wirkenden Parallaxenschraube (Ablesung p an der Parallaxen- und Trommelteilung) bzw. mit dem y-Handrad, das sich am unteren Ende des Doppelmikroskopträgers befindet (Ablesung y an der Ordinatenteilung).

Mit der fortschreitenden Entwicklung war das Bestreben der Konstrukteure auf die Vermeidung aller Rechenarbeiten gerichtet, d. h. auf eine möglichst unmittelbare Aufzeichnung des Grundrisses mit Hilfe der in einer bestimmten Seehöhe geführten oder auch der Höhe nach veränderlichen Raummarke.

Die verschiedenen Wege, deren man sich zur Darstellung der Zielstrahlen nach der Raummarke bediente, sind in dem folgenden Überblick angegeben.

36,1 Gliederung der stereoskopischen Auswertungsinstrumente (Zweibildinstrumente)

Für die beabsichtigte, möglichst weitgehende mechanisch-automatische Zerlegung des einem Bildpaar zugeordneten optischen Modells in eine Grundriß- und Höhendarstellung von bestimmtem Maßstabsverhältnis, benutzte man wesentlich die drei folgenden Grundsätze[30].

1. Die Bewegung der am subjektiv gesehenen Modell entlang geführten Raummarke wird durchwegs mit starren materiellen Lenkern auf den Zeichenstift übertragen (rein mechanische Projektion).

2. Die Zielstrahlen nach der Raummarke sind teilweise durch starre Lenker, teilweise von Lichtstrahlen dargestellt (optisch-mechanische Projektion).

3. Durch sog. Doppelprojektion[31] erzeugt man, über eine rein optisch bewirkte Umkehr des Strahlenganges der ursprünglichen Aufnahme, das entweder objektiv oder nur subjektiv beobachtbare Raummodell und vermißt es durch Abtastung mit der wandernden Marke.

Zufolge der im Rahmen dieses Buches notwendigen Beschränkung werden wir später nicht alle Vertreter der einzelnen Gruppen, sondern nur die folgenden Instrumente kennenlernen.

1. S t e r e o a u t o g r a p h *Orel-Zeiß* [37,5],
   A u t o g r a p h *Wild* A 5 und A 6 [38,66],
   K l e i n a u t o g r a p h *Zeiß-Aerotopograph* [37,5],
2. A u t o g r a p h *Wild* A 4 [37,5],
3. M u l t i p l e x *Zeiß-Aerotopograph* [38,65],
   Stereoplanigraph *Bauersfeld-Zeiß-Aerotopograph* [38,66].

Schon an dieser Stelle sei ein neues Gerät für Erdbildauswertung, nämlich der T e r r a g r a p h von *Killian*, genannt, das in die erste Gruppe mit rein mechanischer Projektion zu zählen ist, diese aber weder durch Lineale noch durch Raumlenker bewirkt, sondern durch eine andersgeartete konstruktiv sehr einfache Einrichtung [37,5][31a].

37 Erdphotogrammetrie

Wie wir es in [35,3] gesehen haben, kann jedes Einzelmeßbild, durch Ausmessung der Bildpunktkoordinaten bei bekannter innerer Orientierung, zur Ermittlung von Horizontal- und Höhenwinkeln benutzt werden.

Aus zwei Meßbildern mit gegebenen äußeren Orientierungen ist daher grundsätzlich die lagetreue Darstellung des gemeinsamen Bildinhaltes bewirkbar, entweder durch gewöhnliche Meßtischphotogrammetrie oder durch Parallaxen- bzw. Stereophotogrammetrie.

Einfache Auswertungsverfahren und -formeln ergeben sich indessen nur dann, wenn die Meßbildaufnahmen bestimmte Bedingungen erfüllen, wie sie durch die später genannten p h o t o g r a m m e t r i s c h e n A u f n a h m e f ä l l e gekennzeichnet sind.

Der Horizontalabstand der Projektionszentren O_1, O_2 bestimmt die Größe der Aufnahmebasis b, und ihre Richtung wählen wir als Bezugslinie für die Zählung der Verschwenkungswinkel φ der Kammerachsen, deren Kippungswinkel ω zumeist durch Höhen- oder Tiefenwinkel angegeben werden.

Es ist üblich, den beim Blick in den Aufnahmeraum links- bzw. rechtsliegenden Basisendpunkt als A-Station bzw. als B-Station zu bezeichnen, so daß wir also hinkünftig die Benennung O_1, O_2 mit der gleichbedeutenden, nämlich A, B, vertauschen können.

37,1 Aufnahmefälle

Die für alle folgenden Entwicklungen geltende Annahme u n v e r k a n t e t e r terrestrischer Meßbilder ist erfüllt, wenn die grundlegende Voraussetzung zutrifft, daß die Aufnahme mit einer berichtigten Meßkammer [37,2] bei bekannter innerer Orientierung und unter Einhaltung des in [37,3] dargestellten Vorganges erfolgt.

37,11 Normalfall[32]

Die Kammerachsen sind normal zur Basis ($\varphi = 90^0$) und waagrecht ($\omega = 0$) (Abb. 199).

Zu dem bereits entwickelten Zusammenhang [36] zwischen den Koordinaten D, X, H des Raumpunktes P und der Basis b bzw. den Meßbildkoordinaten x, y und der Horizontalparallaxe p, nämlich

$$D = \frac{b}{p} f, \quad X = \frac{D}{f} x, \quad h = \frac{D}{f} y,$$

trifft man die Annahme fehlerfreier Basismessung ($db = 0$) bzw. fehlerfreier innerer Orientierung ($df = 0$) und findet damit

$$dD = -\frac{b}{p^2} f\, dp = -\frac{b}{p} \cdot \frac{f}{p}\, dp = -\frac{D}{f} \cdot \frac{D}{b}\, dp.$$

Nach Einführung des sog. Basisverhältnisses $\frac{b}{D} = \beta$ bzw. des Maßstabsverhältnisses $1:m$ für die Abbildung der im Abstand D liegenden Objektebene, nämlich $\frac{f}{D} = M = \frac{1}{m}$, erhalten wir

$$dD = -\frac{m}{\beta}\, dp.$$

Man erkennt, daß bei einem gegebenen Fehler dp der Parallaxenmessung der zugehörige Entfernungsfehler dD um so kleiner ausfällt, je größer das Bildmaßstabsverhältnis $1:m$ und auch das Basisverhältnis β ist. Dieses darf wegen der früher erwähnten [36] physiologisch bedingten Maximalkonvergenz $\gamma_{max} \doteq 15^0$ der Augenachsen nicht größer als $\beta \doteq \frac{1}{4}$ angenommen werden. Zur Erfüllung der praktisch gegebenen Genauigkeitsforderungen, insbesondere für die mit einem Bildpaar zu messende größte Entfernung, wählt man das Basisverhältnis β innerhalb der Grenzen $\frac{1}{4} > \beta > \frac{1}{20}$.

Bei der Bestimmung der Höhenunterschiede für topographische Zwecke wird der Einfluß der Erdkrümmung und normalen Lichtbrechung [27,1], wenn überhaupt, so nur für größere Entfernungen berücksichtigt.

37,12 Verschwenkungsfall[33]

Die zueinander parallelen Kammerachsen AH_1 bzw. BH_2 schließen mit der Basisrichtung AB den Verschwenkungswinkel $\varphi = 90^0 + \psi$ ein. Aus der Abb. 201 entnehmen wir die folgenden Beziehungen

$$\overline{AC} \parallel \overline{BP}, \ \overline{PC} \parallel \overline{AB}, \ \overline{PC} = b,$$

$$\overline{EP} = b\cos\psi, \ \overline{CE} = b\sin\psi,$$

$$\overline{FE} : \overline{CE} = x_2 : f,$$

$$\overline{FE} = \frac{b}{f} x_2 \sin\psi.$$

Mit den ähnlichen Dreiecken PFA bzw. $p_1 1A$ liest man ab $D : f = \overline{FP} : p$, $\overline{FP} = \overline{FE} + \overline{EP}$, so daß sich durch Einsetzen der obigen Resultate und Beachtung $x_2 = x_1 - p$ schließlich ergibt.

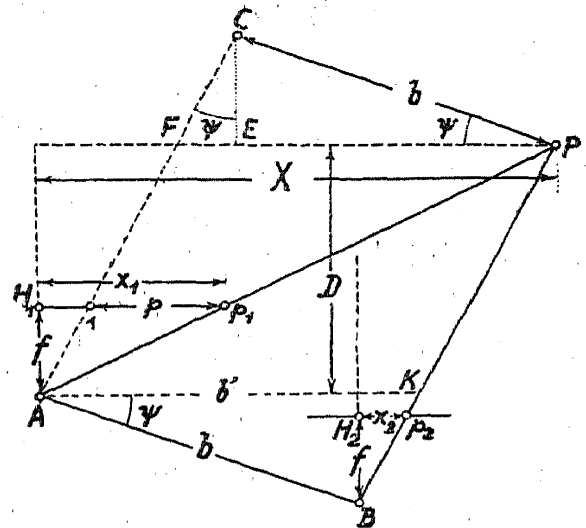



Abb. 201.

$$D = \frac{x_2 \sin\psi + f\cos\psi}{p} b = \frac{b}{p}(f\cos\psi + x_1 \sin\psi) - b\sin\psi.$$

Die auf A als Ursprung bezogene Abszisse X des Raumpunktes erhalten wir aus $X = \frac{D}{f} x_1$. Die Höhenunterschiedsbestimmung ist wie beim Normalfall vorzunehmen.

Man kann den Verschwenkungsfall auch so wie den Normalfall auswerten, nämlich durch Zurückführung entweder der Basis b auf die sog. reduzierte Basis $b' = \overline{AK}$ oder der Brennweite f auf ihren reduzierten Wert f'. Hiezu formt man den obigen Ausdruck für D in der folgenden Art um.

$$D = \frac{f}{p} b' = \frac{f}{p} b\left(\cos\psi + \frac{x_2 \sin\psi}{f}\right), \quad b' = b\left(\cos\psi + \frac{x_2 \sin\psi}{f}\right),$$

$$D = \frac{b}{p} f' = \frac{b}{p} f\left(\cos\psi + \frac{x_2 \sin\psi}{f}\right), \quad f' = f\left(\cos\psi + \frac{x_2 \sin\psi}{f}\right).$$

37,13 Zusätzliche Bemerkungen

Die Auflösung des allgemeinen Aufnahmefalles mit regellos gerichteten Aufnahmeachsen führt zu unhandlichen Formeln, die eine wirtschaftliche Anwendung nicht mehr zulassen und deshalb hier nicht angegeben werden[84].

Geht man, etwa zur Vergrößerung des gemeinsamen Bildfeldes beider Aufnahmen, von parallelen Kammerachsen auf solche über, die im Objektraum konvergieren, so entsteht der Konvergenzfall.

Den D i v e r g e n z f a l l mit im Dingraum divergierenden Achsen erwähnen wir nur der Vollständigkeit wegen. Er widerspricht geradezu der physiologisch bedingten Betrachtung mit parallelen oder höchstens bis zu 15° konvergenten Augenachsen, verkleinert an sich das gemeinsame Bildfeld beider Aufnahmen und gestattet außerdem seine einwandfreie stereoskopische Auswertung nur in dem von konvergenten bis höchstens parallelen Blickrichtungen erfaßbaren Bereich.

Führt man Aufnahmen zum Normal- oder Verschwenkungsfall mit g l e i c h m ä ß i g g e k i p p t e n Achsen aus, so werden die zugeordneten Formeln durch Eintritt des Neigungswinkels ω in ähnlichem Ausmaß schwieriger, wie es [35,3] für die Winkelbestimmung aus Meßbildern mit waagrechten bzw. gekippten Achsen andeutet.

Im Hinblick auf den gegebenen praktischen Rahmen und die vorgebrachten Erwägungen haben wir uns auf die Angabe der Formeln nur für die Lösung des Normal- bzw. Verschwenkungsfalles mit waagrechten Kammerachsen beschränkt. Im Bedarfsfall erforderliche Ergänzungen und Einzelheiten müssen einer ausführlicheren Darstellung entnommen werden[35].

Die hier nicht weiter behandelte F e h l e r t h e o r i e[36] der stereophotogrammetrischen Punktbestimmung, insbesondere die Untersuchung des Einflusses von Fehlern der äußeren Orientierung, führt zu folgenden Ergebnissen.

Wenn die bei der Belichtung t a t s ä c h l i c h v o r h a n d e n e n Elemente der äußeren Orientierung von den S o l l w e r t e n des betreffenden beabsichtigten Aufnahmefalles n i c h t m e h r a b w e i c h e n als nachstehend angegeben, dann darf der t a t s ä c h l i c h e Aufnahmefall so w i e d e r a n g e s t r e b t e i d e a l e ausgewertet werden[37]:

$$\text{Verschwenkungswinkel } d\varphi \leqq 50'', \text{ Kippungswinkel } d\omega \leqq 50'',$$
$$\text{Kantungswinkel } d\varkappa \leqq 25''.$$

Für das Verständnis späterer und bereits vorgebrachter Angaben über die Identifizierung von Bildpunkten, die absolute Orientierung von Bildpaaren usw. ist es wertvoll, einige Merkmale zu erwähnen, die die A r t d e s A u f n a h m e f a l l e s aus den vorliegenden Einzelbildern erkennen lassen.

Wenn wir aus der den Konvergenzfall kennzeichnenden Abb. 196 jene für den Normalfall mit gleich hoch gelegenen Projektionszentren O_1, O_2 und horizontalen Kammerachsen ableiten, so ergibt sich die in der Abb. 202 dargestellte Lage der Positivbildebenen mit den Kernebenen ABP, ABL und den zueinander parallelen Kernstrahlen K_{p_1}, K_{p_2} bzw. K_{l_1}, K_{l_2} usw.[38].

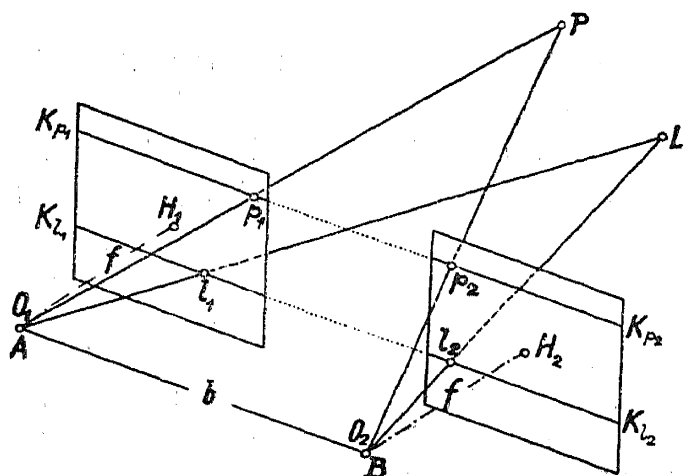



Abb. 202.

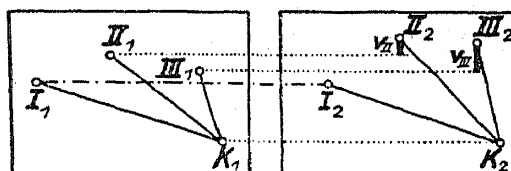



Abb. 203.

Bei binokularer Betrachtung der Teilbilder vermag das Gehirn z. B. den Raumpunkt P erst dann zu rekonstruieren, bis die Kernstrahlen K_{p_1}, K_{p_2} durch entsprechende gegenseitige Verschiebung der beiden Bilder wieder in die Kernebene O_1O_2P verlegt sind. In diesem Augenblick ist zwischen den Bildpunkten p_1, p_2 keine Höhenparallaxe vorhanden, und wir sehen auch, daß beim gewählten Aufnahmefall nirgends mehr eine Höhenparallaxe entstehen kann. Die Betrachtung des Raummodells ist daher im gesamten gemeinsamen Bildinhalt störungsfrei möglich, wenn nicht eine Behinderung durch andere Umstände eintritt [36], wie etwa wegen eines zu großen Sprunges der Horizontalparallaxen von Punkten in derselben Richtung usw.

Für parallelverschwenkte Aufnahmen ergibt sich der in Abb. 203 dargestellte Bildvergleich. Nach Beseitigung der Höhenparallaxe eines Punktpaares I_1, I_2 verbleiben solche für alle anderen Punkte, nämlich z. B. v_{II} zwischen II_1 bzw. II_2, v_{III} zwischen III_1 bzw. III_2 usw. Eine weitergehende Behinderung des räumlichen Sehens wird indessen erst dann und dort eintreten, wo die betreffende Vertikalparallaxe unter einem Sichtwinkel von mehr als etwa 1^0 erscheint.

Bei parallelverschwenkten Aufnahmen sind die Kernstrahlenbüschel nach derselben Seite geöffnet, bei konvergenten Aufnahmen aber nach verschiedenen Seiten[39].

37,2 Aufnahmegeräte[40]

Unter Hinweis auf die von der fortschreitenden Entwicklung der Erdbildmessung bedingte große Mannigfaltigkeit ausgeführter und bewährter Geräte, sog. Phototheodolite, beschränken wir uns auf die schlagwortartige Bezeichnung der wichtigsten Bestandteile einer modernen Feldausrüstung[41] für terrestrische Photogram-

metrie, nämlich der Aufnahmekammer, der Einrichtung für die Bestimmung ihrer äußeren Orientierung und des sonstigen Zubehörs.

Die Aufnahmekammer besitzt stets die gleiche, mit Stellschrauben lotrecht zu richtende Umdrehungsachse wie ihr Orientierungsgerät. Dieses kann als Theodolit (Abb. 204, 206) oder als Richtaufsatz (Abb. 205) ausgebildet sein und dient insbesondere zur Orientierung der Kammerachse gegen die Basisrichtung, aber auch, in unmittelbarer Verbindung mit der Kammer, zur Durchführung jener Richtungsbeobachtungen, die zur trigonometrischen Ableitung eines Basisendpunktes (meist der A-Station) erforderlich sind. Unter Umständen ist der Theodolit von der Kammer abhebbar. Er wird dann, nach Wegnahme der Kammer, in deren Dreifußsteckhülse eingeführt und wie ein eigentlicher Theodolit verwendet.

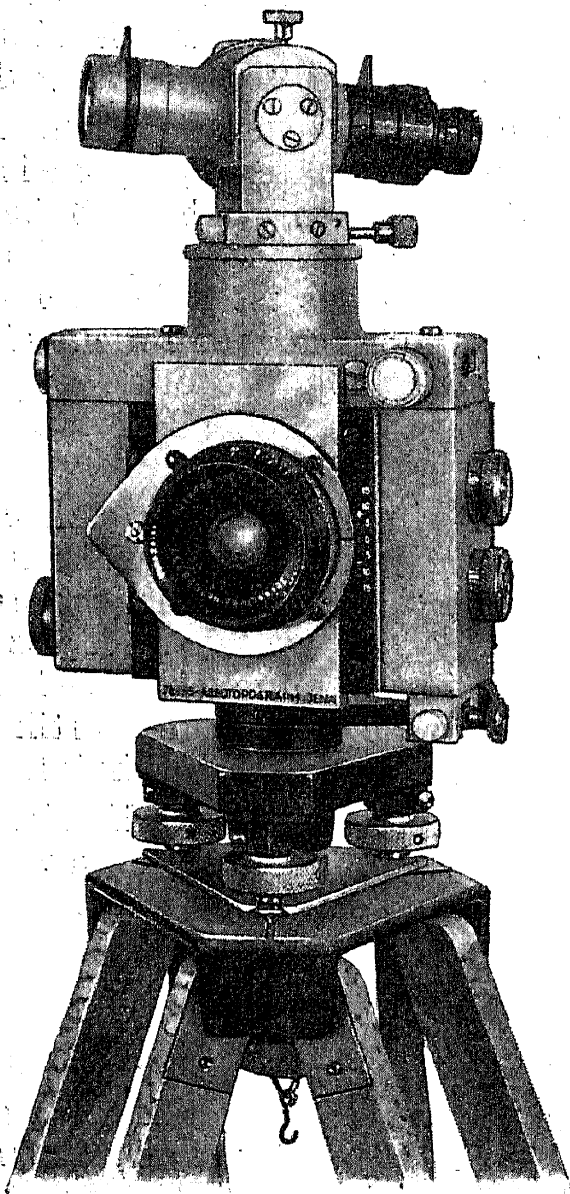



Abb. 204. *(Zeiß-Aerotopograph.)*

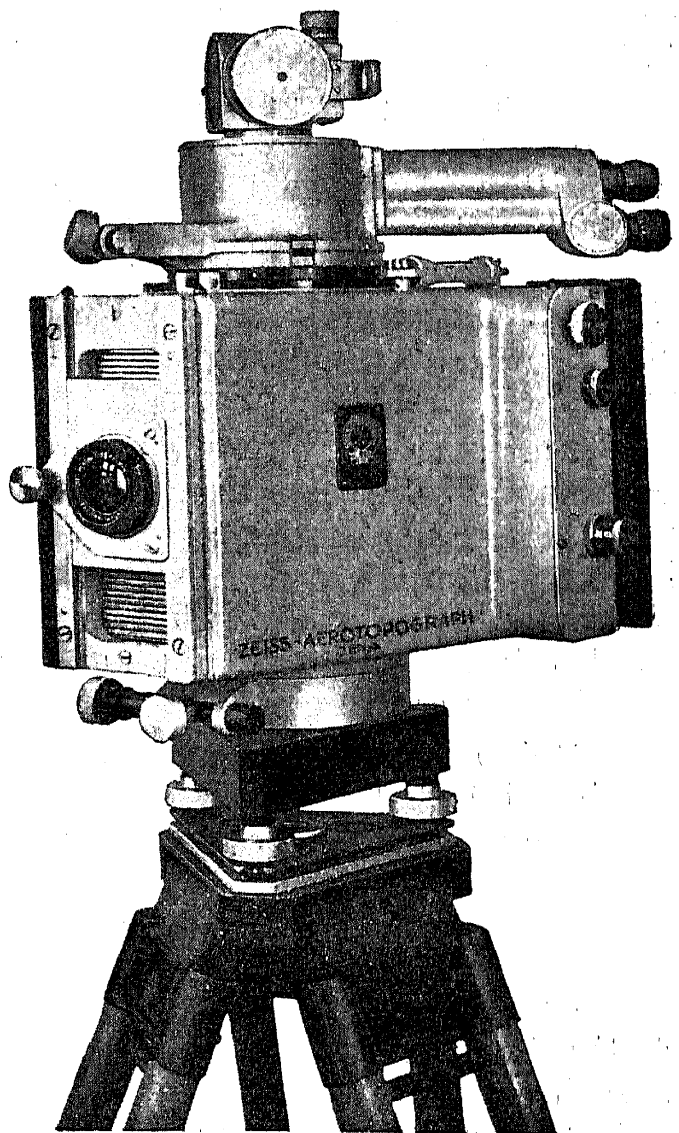



Abb. 205. *(Zeiß-Aerotopograph.)*

Die Orientierung der Kammerachse gegen die Basisrichtung erfolgt zumeist mit Verschwenkungswinkeln φ von bestimmter Größe, deren rasche und genaue Abtragung entweder durch feste Einrastungen (z. B. für $\varphi = 0^\circ$, 60°, 90°, 120°) am Horizontalkreis des Theodoliten gewährleistet ist oder beim Richtaufsatz durch Strichmarken, die mit dem Ablesemikroskop einzustellen sind.

Wenn der Theodolit sehr genaue Winkelmessungen zuläßt (terrestrisches Feldinstrumentarium *Wild*, Abb. 206), kann er in Verbindung mit einer Präzisions-Invarbasislatte auch zur Ermittlung der Aufnahmebasis b nach dem trigonometrischen Verfahren [25,11] verwendet werden. Als Basislatte dient zumeist eine solche von 2 m Länge, die u. U. durch seitlich ansetzbare Teile auf 3 m zu verlängern ist. Die Bezeichnung der Gegenstation für Richtungsbeobachtungen erfolgt durch eine am dortigen Stativ zentrierte Zieltafel, deren Dreifuß später die Stehachse der Meßkammer aufnimmt.

Bei den Ausrüstungen TAL (Abkürzung für Terrestrische Aufnahme Leicht) (Abb. 204) bzw. TAN (Abkürzung für Terrestrische Aufnahme Normal) (Abb. 205) von *Zeiß-Aerotopograph* werden stets die festen Verschwenkungswinkel φ, wegen der erwähnten Markeneinstellung, mit einem Fehler von nur wenigen Bogensekunden abgetragen. Die auf Bogenminuten beschränkte Genauigkeit der Kreisablesung ist auch noch für die Messung der Richtungen zur trigonometrischen Bestimmung der A-Station hinreichend, nicht mehr aber zur Beobachtung des parallaktischen Winkels für die trigonometrische Distanzmessung mit Hilfe einer Basislatte. Im Bedarfsfall ist hier ein Theodolit mit entsprechender Ablesegenauigkeit oder ein Streckenmeßtheodolit [25,11] zu verwenden.

An dieser Stelle erwähnen wir den Phototheodolit TAF (Abkürzung für Terrestrische Aufnahme *Finsterwalder*), von *Zeiß-Aerotopograph*, nach Angaben von Geheimrat *Finsterwalder*, besonders für photogrammetrische Arbeiten unter schwierigen Geländeverhältnissen im Hochgebirge und auf Expeditionen konstruiert, bei dem das Aufnahmeobjektiv zugleich als Fernrohrobjektiv benützt wird. Die vertikal übereinanderliegenden Marken des Anlegerahmens dienen hier als Fadenkreuz des Fernrohrs[42].

Der starr gebaute Kammerkörper gewährleistet die dauernde Einhaltung desselben Objektivabstandes von der Bildebene durch Anpressung der Platte an den Anlegerahmen. Dieser trägt auch die Randmarkenpaare bzw. verstellbaren Zählschildchen und -rädchen für Aufnahmenummern, Aufnahmefall- und Standpunktbezeichnung, die sich bei der Belichtung am Plattenrand mit abbilden.

Eine Neigung der Kammerachse erreicht man bei starr gelagertem Kammergehäuse (Abb. 204, 205) durch Verschiebung des Objektivs auf einer zur Bildebene parallelen Gleitbahn bzw. bei kippbarem Gehäuse (Abb. 206) durch Einstellung eines Führungshebels, der z. B. in Abb. 206 das Objektiv gabelförmig umgreift.

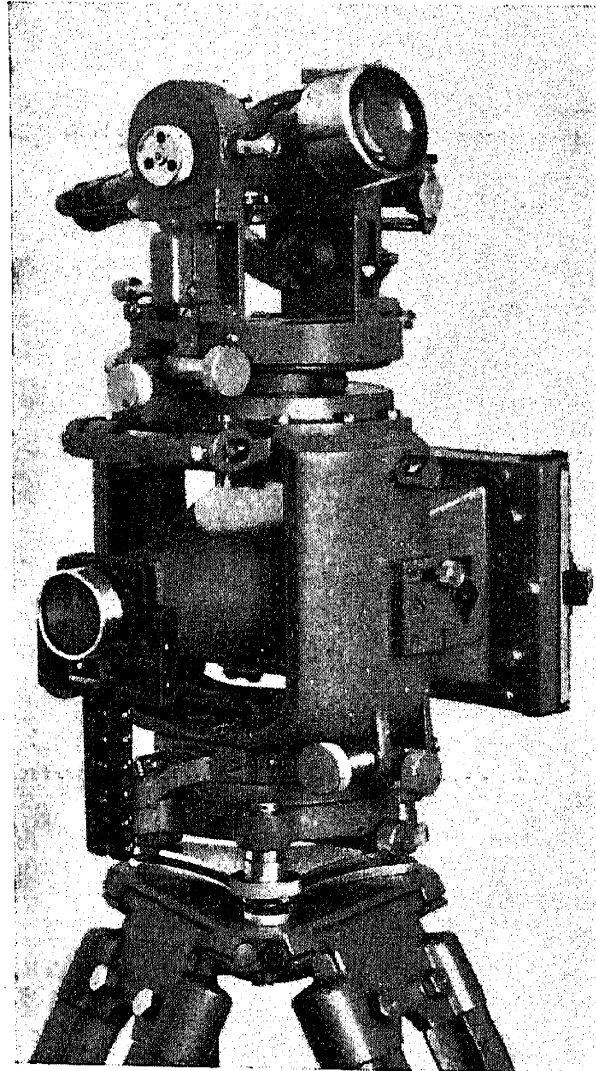



Abb. 206. *(Wild)*

In beiden Fällen erzeugen feste Einrastungen bestimmte Kippungswinkel ω.

Die feinmechanische Justierung[43] des Aufnahmegerätes bezieht sich

1. auf die innere Orientierung der Meßkammer, d. h. die möglichst vollkommene Verlegung des Bildmittelpunktes in den Hauptpunkt für normale Objektivlage,
2. auf die Justierung des Theodolites bzw. Richtaufsatzes an sich,

3. auf die gegenseitige Justierung von Theodolit bzw. Richtaufsatz und Kammer hinsichtlich der Forderung, daß bei Horizontalkreisablesung Null die Zielachse und die Kammerachse in der gleichen Vertikalebene liegen müssen.

Die strenge Erfüllung dieser Bedingung ist u. U. mit einer sog. Feldjustiereinrichtung überprüfbar.

Bei einwandfrei durchgeführter feinmechanischer Justierung wird die Aufnahmebereitschaft der Meßkammer durch Einspielung ihrer, wie bei einem Theodoliten berichtigten, Libellen erzeugt.

In normaler Stellung des Objektivs ist dann die Kammerachse waagrecht, und die zugleich unverkantet lotrechte Bildebene bringt man durch Einstellung des Verschwenkungswinkels φ in die dem gewünschten Aufnahmefall zugeordnete Richtung.

37,3 Aufnahmevorgang[44]

Nach Feststellung der dem Aufnahmezweck entsprechenden Basisendpunkte, wozu man u. U. ein Erkundungsprisma für Bildausschnitt und -überdeckung benutzt, wird im linken Endpunkt (*A*-Station) der Phototheodolit, im rechten (*B*-Station) hingegen die Basislatte meßbereit [25,11] aufgestellt.

Die weitere Arbeit verläuft unter Beachtung der folgenden schlagwortartigen Hinweise.

A-Station

1. Richtungs- und Neigungsbeobachtungen, soweit sie zur späteren trigonometrischen Bestimmung des Standpunktes und seiner Seehöhe erforderlich sind.
2. Beobachtungen zur Ermittlung der Basislänge b durch direkte Messung des parallaktischen Winkels zwischen den Marken der Basislatte oder mit Hilfe der Basismeßschraube [25,11].
3. Überprüfung der lotrechten Lage der Phototheodolitstehachse bzw. der Kammerbildebene.
4. Herbeiführung des gewünschten Aufnahmefalles. Durch Einstellung oder Einrastenlassen des zugehörigen Verschwenkungswinkels φ am Kreis des Theodolites oder Richtaufsatzes schließt seine Zielachse mit der Kammerachse den Winkel φ ein. Koppelt man nun die Kammer mit dem Theodolit bzw. Richtaufsatz und stellt sein Fernrohr sehr genau auf eine Zieltafel ein, die in der Dreifußbüchse der *B*-Station gegen die Basislatte ausgetauscht wurde, so ist die Kammerachse zur Basisrichtung unter dem gewünschten Winkel φ verschwenkt.

   Durch Einstellung des Kippungswinkels ω erhält die Kammerachse ihre endgültige Raumlage.
5. Nach Überprüfung des Bildausschnittes auf der Mattscheibe, Drehung der am Anlegerahmen vorhandenen Zähl- und Markierscheibchen auf die Daten des Aufnahmefalles wird die Plattenkassette angesetzt, angepreßt und gesichert. Man bestimmt die erforderliche Belichtungsdauer und belichtet, bei

ausgezogenem Kassettenschieber, durch Abheben des Objektivdeckels von Hand aus. Es ist ratsam, nach Ausziehen des Kassettenschiebers nochmals die Stehachsenlage und die äußere Orientierung der Kammer zu überprüfen.

6. Versorgung der belichteten Platte, Aushebung der Kammer aus der Dreifußbüchse, in die eine gegen die B-Station gewendete Zieltafel einzuführen ist. Übertragung des Aufnahmegerätes zur B-Station.

B-Station

Hier wird die Zieltafel gegen die Kammer vertauscht, und nach Lotrechtrichtung ihrer Stehachse bzw. Herbeiführung des beabsichtigten Aufnahmefalles vollzieht sich die weitere Arbeit so wie bei Punkt 5. der A-Station. Zum Abschluß wird u. U. auch nochmals die Basis mit der in A eingeführten Basislatte gemessen.

Zur Vermeidung von Störungen bei der späteren binokularen Betrachtung des Raummodells, die sich als Folge einer in der Zeit zwischen den beiden Aufnahmen eingetretenen Änderung der Schattenlage ergeben können, sollen die Aufnahmen möglichst rasch aufeinanderfolgen.

Der gegebene Rahmen zwingt zum Verzicht auf Besprechung weiterer Einzelheiten, wie etwa der Grundsätze, die bei Auswahl der Standpunkte, ihres günstigsten Abstandes usw. zu beachten sind. Im Bedarfsfall muß eine ausführliche Darstellung der Planung und Ausführung erdphotogrammetrischer Arbeiten zu Rat gezogen werden.

Die notwendige Vertrautheit mit einem bestimmten verfügbaren Gerät und seinen Sondereinrichtungen erwirbt man kaum je allein über das Studium der vom Erzeuger beigestellten Gebrauchsanleitung, sondern am einfachsten im Wege der praktischen Einschulung durch einen erfahrenen Photogrammeter.

37,4 Einfache Auswertungsverfahren [45]

Den grundsätzlichen Gedankengang eines solchen Verfahrens verfolgen wir an einem Beispiel zum Normalfall mit horizontalen Kammerachsen unter der Annahme, daß das entsprechende Bildpaar

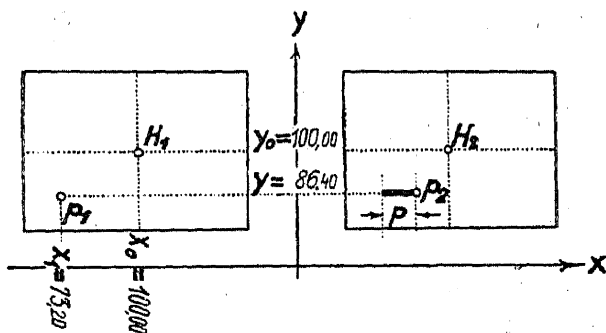
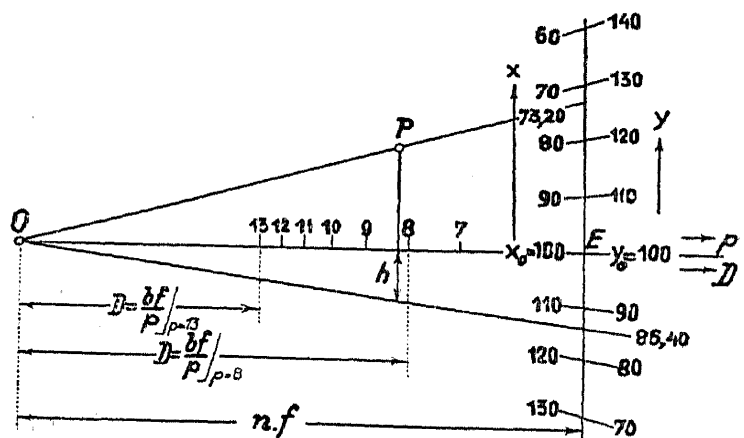



Abb. 207. Abb. 208.

(Abb. 207) mit Hilfe eines Stereokomparators [36] punktweise ausgewertet wurde.

Dabei soll sich ergeben haben:

für den Hauptpunkt H_1 des linken Bildes $x_0 = 100{,}00$ mm,
$y_0 = 100{,}00$ mm,
für den Geländepunkt P $x_1 = 73{,}20$ mm, $y_1 = y_2 = y = 86{,}40$ mm.
$p = 8{,}20$ mm.

Zur Auftragung dieses Punktes (Abb. 208) kartiert man die Lage des Projektionszentrums O und die Aufnahmerichtung, trägt auf ihr von O aus die n-fache Kammerbrennweite ab, nämlich $n \cdot f$, fällt im Endpunkt E die Normale und teilt sie nach beiden Seiten hin mit den n-fachen Intervallen der Abszissen- und Ordinatenskala des Komparators. Entsprechend den obigen Hauptpunktablesungen $x_0 = 100{,}00$ mm und $y_0 = 100{,}00$ mm erhält der Punkt E in der von O aus gesehen nach links hin abnehmenden x-Skala die Bezifferung 100, in der y-Skala ebenfalls die Bezeichnung 100.

Für geeignete ganzzahlige oder in zweckmäßiger Dichte liegende Werte der vorkommenden Horizontalparallaxen p berechnet man aus der Distanzformel für den Normalfall [37,11], nämlich $D = \frac{b}{p} f$, mit der bei der Aufnahme gemessenen Basis b die entsprechenden Entfernungen D. Nach ihrer Abtragung von O aus werden die Endpunkte indessen mit dem Betrag der zugehörigen Parallaxe p beziffert.

Damit ist das Zeichenblatt für die Konstruktion der Grundrisse und Höhenunterschiede von mit diesem Bildpaar stereometrisch beobachteten Punkten vorbereitet.

Zur Bestimmung der Grundrißlage des oben angegebenen Punktes P zieht man die Gerade von O bis $x = 73{,}20$ und schneidet sie durch die in $p = 8{,}20$ errichtete Normale.

Der Höhenunterschied h von P gegen O ergibt sich als Abschnitt auf der eben vorher in $p = 8{,}20$ mm gefällten Normalen zwischen der Kammerachse OE und der nach $y = 86{,}40$ gezogenen Zielrichtung. Dieser Abschnitt entsteht im Maßstabverhältnis der Karte und wird mit der bekannten Seehöhe des Projektionszentrums der A-Station zur Kotierung von P verwendet.

Auch alle anderen Aufnahmefälle sind auf ähnliche konstruktive, aber immer komplizierter werdende Lösungen zurückführbar, denen daher aus wirtschaftlichen Gründen keine praktische Bedeutung zukommt.

Bei Erfordernis muß man auf verfügbare ausführliche Einzeldarstellungen[46] zurückgreifen, in denen auch viele Verfahren der stereometrischen Punktbestimmung behandelt sind, auf die in diesem

Rahmen nicht eingegangen wurde, wie etwa die Auswertung mit konstant gehaltener Parallaxe usw.

37,5 Mechanische Auswertegeräte und -verfahren[47]

Bei den hier flüchtig angedeuteten zeichnerischen Verfahren der Lage- und Höhenbestimmung von Punkten, die in einem optischen Modell stereoskopisch vermessen wurden, verursacht die Zwischenstufe der rechnerischen oder konstruktiven Lösung des räumlichen Vorwärtseinschnittes auch schon beim einfachsten Aufnahmefall einen praktisch nicht tragbaren Zeit- und Arbeitsaufwand.

Die angestrebte automatisch-mechanische Bestimmung der Kartenlage jedes mit der wandernden Marke eingestellten Modellpunktes, durch mit dem Stereokomparator verbundene und von ihm geführte Lineale (Lenker), erreichte erstmalig *v. Orel* mit seinem Stereoautographen[48], dessen 1908 von *Rost* in Wien gebaute Grundform die *Zeiß*-Werke in Jena ab 1909 weiterentwickelten.

Da die mechanischen Lenker stets durch die Basisendpunkte hindurchgehen müssen, treten bei nur kurzer Basis oder bei kleinmaßstäblichen Kartierungen, wegen der verhältnismäßig großen Platten, Schwierigkeiten auf. Sie wurden mit der Erfindung des *Zeiß*-Parallelogramms[49] durch *Bauersfeld* (1910) überwunden, das wir später als einen wesentlichen Bestandteil der modernen Zweibildauswertemaschinen [38,65] wiederfinden werden.

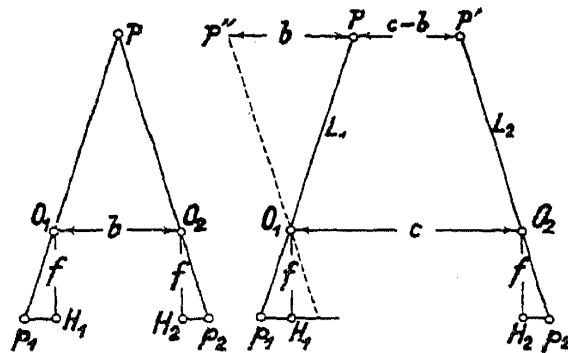



Abb. 209.

Der Grundgedanke und die Wirkungsweise des *Zeiß*-Parallelogramms ist aus Abb. 209 erkennbar. Zur Behebung der oben erwähnten Schwierigkeiten verlegt man die Projektionszentren O_1, O_2 in einen an sich beliebigen, konstruktiv günstigen Abstand $c \neq b$ und erhält durch parallele Übertragung von $O_1P = L_1$ bzw. $O_2P' = L_2$ das Trapez $O_1O_2P'P$.

Sorgt man dafür, daß die Punkte P und P' dauernd im Abstand $(c-b)$ parallel zu O_1O_2 geführt werden, so ist die Lage von P in bezug auf O_1 stets so festgelegt, als ob die Projektionszentren sich im Abstand der Basis b befänden. Diese Führung bewerkstelligt das Parallelogramm $O_1O_2P'P''$, dessen letzter Punkt durch Anlegung der Basis in P entsteht.

Die drei zueinander normalen Bewegungen, mit denen der Beobachter die Raummarke des Stereokomparators auf den Punkt P des optischen Modells aufsetzt, lenken das Parallelogramm $P''P'O_1O_2$, das in seiner Schlußstellung den Grundriß von P automatisch festlegt, während der auf O_1 bezogene Höhenunterschied an einem besonderen Höhenlineal abzulesen ist.

Stellt man an ihm einen bestimmten Höhenwert unveränderlich ein und steuert die räumliche Marke so, daß sie stets das optische Modell berührt, dann wird der Grundriß der durchfahrenen Schichtenlinie von dem Zeichenstift des Gerätes fortlaufend kartiert.

Der Stereoautograph von *v. Orel-Zeiß* ist das klassische Beispiel für die automatisch-mechanische Umwandlung von Bildkoordinaten in eine maßstäblich richtige Kartendarstellung. Über verschiedene, stets bewährte Entwicklungsstufen hinweg, lösen die derzeit in Gebrauch stehenden Formen die praktisch vorkommenden Aufgaben des Normal- und Verschwenkungsfalles der terrestrischen Photogrammetrie mit waagrechten Kammerachsen bzw. — bei verhältnismäßig einfachen Zusatzeinrichtungen — auch für beschränkt gekippte Achsen.

Da eine eingehendere Beschreibung des Gerätes, seiner Berichtigung und Verwendung den Rahmen dieser Darstellung überschritte, muß man solche Einzelheiten im Bedarfsfall einem ausführlichen Werk entnehmen[48]. Wir wollen indessen noch auf einige Umstände hinweisen, die nicht nur für die Arbeit mit dem Stereoautographen, sondern überhaupt bei allen stereoskopischen Auswertegeräten von maßgebender Bedeutung sind.

In [37,11] wurde entwickelt, daß der Entfernungsfehler dD mit dem Quadrate der Distanz wächst, so daß in größeren Entfernungen schon sehr geringe Änderungen des parallaktischen Winkels γ_p (Abb. 199) beträchtliche Verlagerungen des ins Auge gefaßten Punktes P erzeugen.

Auch bei präzisester Ausführung und bester Grundberichtigung des Auswerteinstrumentes geben seine feinmechanisch unvermeidlichen Fehler, gemeinsam mit Formveränderungen, die z. B. durch wechselnde Temperaturen verursacht sind, allein schon Anlaß zur Entstehung von u. U. auch durchaus regelmäßig sich äußernden Auswertungsfehlern. Um diese als solche zu erkennen und durch geeignete Maßnahmen auszuschalten, bedarf man sog. Paßpunkte[50], die im optischen Modell deutlich erfaßt bzw. eingestellt werden können und deren Raumkoordinaten auf irgendeinem Wege mit zweckentsprechender Genauigkeit abgeleitet worden sind. Es ist dabei gleichgültig, ob diese Ableitung durch geodätische Messungen erfolgte oder auch durch irgendein photogrammetrisches Verfahren, wenn nur in diesem Fall durch mehrmalige unabhängige Bestimmung der Raumkoordinaten dieser Paßpunkte oder durch ihre vorausgehende Ermittlung

mit präziseren Geräten eine entsprechend erhöhte Lagegenauigkeit gesichert wird.

Obwohl in der terrestrischen Photogrammetrie die Elemente der äußeren Orientierung mit sehr großer Schärfe bekannt sind, wird die Einpassung des optischen Modells auf eine Anzahl von gut gewählten und am Rand der auszuwertenden Fläche liegenden Paßpunkten die letztmögliche Feinheit der späteren Auswertung erreichen lassen.

Wenn man daher in einem Auswertegerät den gegebenen Aufnahmefall mit der instrumental möglichen Genauigkeit herstellt, so wird der Vergleich der nach Grundriß und Höhe bereits kartierten Paßpunkte mit den Punktlagen und Höhen, die durch stereoskopische Auswertung entstehen, Widersprüche erkennen lassen.

Durch sachgemäß angebrachte geringfügige Änderung der Orientierungselemente ergibt sich schließlich eine Tilgung der Widersprüche mindestens innerhalb der zeichnerischen Verschwindungsgrenze und damit die Gewißheit, daß die Genauigkeit der nun anschließenden Auswertung, innerhalb des Rahmens der gegebenen Paßpunkte, die Größenordnung der verbliebenen Widersprüche im allgemeinen nicht überschreiten wird.

Die beim Stereoautographen verwirklichte mechanische Zerlegung der Auswertung in eine solche für den Grundriß und eine von ihr getrennte für die Höhenlage, wurde später bei allen modernen Universalauswertegeräten [38,66] aufgegeben und ersetzt durch die unmittelbare räumliche Darstellung des Strahlenverlaufes mit Hilfe von Raumlenkern. Durch die Übertragung jener drei Bewegungen, die zur Einstellung der Meßmarke auf die Punkte des Raummodells notwendig sind, auf diese Raumlenker entsteht unmittelbar die Gegenstandsabbildung in der Aufriß- und Grundrißebene.

Unter Anwendung dieses Konstruktionsgrundsatzes ist von *Zeiß-Aerotopograph* der sog. Kleinautograph[51] erzeugt worden, für die mechanische Auswertung von Erdbildpaaren, die u. U. auch verschwenkt und gekippt, stets aber mit parallelen Achsen aufgenommen sein müssen.

Topographische Aufnahmen mit Normalkammern, z. B. 13 × 18 cm, sind vorher auf das Bildformat 6 × 9 cm des Kleinautographen umzubilden, während die mit stereometrischen Doppelkammern 6 × 9 cm erhaltenen Bildpaare unmittelbar verwendbar sind. Im Aufgabenbereich der Nahphotogrammetrie ergeben sich bei Aufnahmedistanzen zwischen 1—8 m bzw. 10—82 m Kartierungsmaßstäbe von 1 : 20 bzw. 1 : 200, und mit zusätzlicher Verwendung einer Profilzeicheneinrichtung ermöglicht der Kleinautograph die mechanische Aufzeichnung von beliebig dichten Parallelschnitten, d. h. die Darstellung des aufgenommenen Körpers durch Schichtenlinien parallel zu einer frei wählbaren Projektionsebene.

Hievon macht man Gebrauch bei tierzüchterischen, biologischen und medizinischen (röntgen-photogrammetrischen) Arbeiten, aber auch für die Festhaltung und nachträglich vielseitig mögliche Vermessung von Veränderungen bei technischen Modellversuchen[52].

Der von der A. G. *Wild* (Heerbrugg) erzeugte Autograph A 4 dient als Auswertegerät für die mit den *Wild*schen Stereometerkammern hergestellten nahphotogrammetrischen Aufnahmen[53].

Bereits in [36,1] wurde der von *Killian* entworfene und in Modellausführung bewährte Terragraph als ein Erdbild-Auswertegerät erwähnt, das die mechanische Projektion weder durch Lineale noch durch Raumlenker bewirkt, sondern durch eine konstruktiv sehr einfache Einrichtung, deren Gesamtgröße die eines Stereokomparators nicht erreicht.

In der derzeitigen, beim Österreichischen Bundesamt für Eich- u. Vermessungswesen befindlichen Ausführung gestattet der Terragraph von *Killian* die Auswertung von Normal- und Verschwenkungsfällen mit horizontalen Achsen, bei punktweiser Zeichnung der Schichtenlinien[53a].

Als Vorteile des Terragraphen sind die folgenden zu nennen:

1. Einfacher Aufbau; große Billigkeit, die die Anschaffung auch kleinen Dienststellen oder freierwerbenden Ingenieuren ermöglicht.
2. Trotz geringer Größe und kleinem Gewicht ist die Auswertungsgenauigkeit die gleiche wie bei den bekannten Erdbild-Auswertegeräten.
3. Da die automatische Verschiebung des Doppelmikroskops nicht von der Einrichtung zur Planauftragung abgeleitet wird, kann durch kleinen Kostenaufwand eine beliebig große Auswertedistanz erzielt werden.
4. Automatische Beseitigung der Höhenparallaxen.

38 Luftphotogrammetrie

Während die Anwendungsmöglichkeit der Erdbildmessung in besonderem Ausmaß von dem gegebenen Gelände abhängig ist und günstig gelegene Aufnahmestandpunkte mit bestem Einblick in das Aufnahmegebiet verlangt, was fast stets nur im Gebirge verwirklicht ist, unterliegt die Durchführbarkeit von Luftaufnahmen keiner technischen Beschränkung, sondern höchstens einer behindernden Störung durch meteorologische Umstände.

Senkrecht nach unten aufgenommene Luftbilder oder Luftbildreihen geben in ihrem ganzen Bereich praktisch gleichbleibende Auswertungsgenauigkeit, wenn die vorkommenden Höhenunterschiede im Gelände nur klein sind gegenüber

der Flughöhe, wogegen die Erdbildmessung immer im Vordergrund der Aufnahme genauer arbeitet als in der Ferne.

Die Gestehungskosten der Luftbildaufnahmen sind hoch und machen sich immer nur bei sehr präziser Planung bzw. entsprechend großem Ausmaß der Arbeiten bezahlt. Wendet man dies auf die derzeitigen und voraussichtlich auch für einen längeren zukünftigen Zeitabschnitt geltenden Verhältnisse in Österreich an, so wird der in allen technischen und wirtschaftlichen Zweigen herrschende unbestreitbare Bedarf nach Luftaufnahmeergebnissen nur in zwei Arten erfüllt werden können.

Als erster Weg bietet sich die sachgemäße Ausnützung von vorhandenen Aufnahmen aus der Zeit bis etwa 1944. In zweiter Hinsicht verbleibt vorläufig kaum mehr als die Hoffnung, daß bei der Planung der zukünftigen staatlichen Vermessungsflüge ein möglichst großer Teil jener zahlreichen Wünsche berücksichtigt werden kann und mitbeachtet wird, die man von sehr vielen Seiten zu diesem Gegenstand äußerte.

In Österreich werden auf eine gewiß beträchtlich lange Zeit hin wohl nur die dringlichsten Aufgaben der Bundesvermessung und Landesaufnahme den Hauptanlaß zur Durchführung von Luftaufnahmen darstellen. Es ist anzunehmen, daß die Ergebnisse dieser zukünftigen Vermessungsflüge nicht gleichzeitig auch alle von anderer Seite gestellten Nebenforderungen zu erfüllen vermögen.

Dieser Umstand soll nun durchaus keinen Verzicht auf die Verwendung von Luftaufnahmen für die verschiedenen Planungszwecke begründen, sondern muß eher zu Überlegungen über die günstigste und zugleich wirtschaftlichste Ausnutzung verfügbarer Unterlagen anregen.

Weil bei einer solchen nicht auf Selbstzweck, sondern auf Mitbenützung abgestimmten Verwendung von Luftaufnahmen naturgemäß die einfachsten Verfahren in den Vordergrund treten, wollen wir diesen die notwendige Aufmerksamkeit zuwenden, aber auch die allgemeinen Grundlagen und Zusammenhänge so weit verfolgen, daß sie bei Bedarf ein Weiterstudium ermöglichen.

38,1 Aufnahmefälle

Während im Bereich der Erdbildmessung der Neigungswinkel ω der Aufnahmeachse zumeist als Höhen- oder Tiefenwinkel angegeben wird, gilt in der Luftbildmessung im allgemeinen die Lotlinie durch das Projektionszentrum als Nullrichtung, entweder für die Zenit- oder die Nadirdistanz der Kammerachse, im Augenblick der Aufnahme.

Hinsichtlich der Neigung unterscheiden wir[54]:

1. Senkrechtaufnahmen und nahezu senkrechte Aufnahmen, bei denen ω höchstens um wenige Bogengrade von der Lotlinie abweicht.

2. Steilaufnahmen mit Neigungen bis zu etwa 10° Nadirdistanz, so daß der Geländenadirpunkt N noch auf dem Bild, u. zw. unweit seinem Hauptpunkt, erscheint.

3. Schrägaufnahmen mit zweckbedingtem größerem Kippungswinkel, so daß der Geländenadirpunkt N u. U. nicht mehr im Bild liegt.

Der Verschwenkungswinkel φ und die Verkantung $\varkappa$ konnte für Aufnahmen mit Handkammern, die heute vermessungstechnisch bedeutungslos sind, beliebige Werte erreichen, während man bei Vermessungsflügen mit Reihenbildkammern[55], durch Geradflug und entsprechende Einstellung der Kammer dafür Sorge trägt, daß die Verschwenkung gegen die Flugrichtung auf die Dauer einer Bildreihe gleich bzw. nahezu gleich groß bleibt und nur unvermeidlich kleine Kantungswinkel vorkommen.

Ähnlich wie in der Erdbildmessung streben wir auch hier die folgenden Aufnahmefälle an.

1. Normalfall mit waagrechter Basis b und lotrechten Kammerachsen.

2. Normalfall mit waagrechter Basis b und steilen oder schrägen, zueinander aber parallelen Kammerachsen.

Während bei den Aufgaben der Erdphotogrammetrie die gewünschten Aufnahmefälle mit großer Genauigkeit herstellbar sind, verhindern dies in der Luftbildmessung die unvermeidlichen Flugzeugpendelungen um den mittleren Kurs, so daß die Elemente der äußeren Orientierung des tatsächlichen Aufnahmefalles von denen des gewünschten bis zu mehreren Bogengraden, u. zw. in einer im vorhinein unbekannten Art, abweichen können.

38,2 Bildflug[56]

Die Entwicklung des Flugwesens brachte es mit sich, daß man die ursprünglich mit Drachen, Fessel- und Freiballonen emporgetragene Aufnahmekammer ins Flugzeug verlegte, wodurch die geforderte Lage der Aufnahmeorte und Art der Aufnahmefälle durch Einhaltung einer zweckmäßigen Flughöhe und -richtung herstellbar wurde.

Wenn wir uns lediglich auf die Darstellung der Bedingungen beschränken, die ein moderner Bildflug im Hinblick auf die spätere, möglichst vereinfachte Auswertung zu erfüllen hat, so sind dies wesentlich:

1. Auf den Aufnahmezweck abgestimmte Flugplanung[57], d. h. Ermittlung der zutreffenden Flughöhe, des Flugweges, der notwendigen Bildüberdeckung usw.

2. Konstanthaltung der Flughöhe und -geschwindigkeit bzw. geradlinige Navigation des entsprechenden Flugweges während der Aufnahme durch den Flugzeugführer oder durch Anwendung der vollautomatischen Steuerung von wenigstens zwei bzw. allen drei Fugzeugachsen[57a].

3. Herstellung des geforderten Aufnahmefalles und der sonstigen Bedingungen (Überdeckungs-, Abtriftregelung usw.) durch den Beobachter[58].

Es ist weder unsere Aufgabe, die selbständige Aufstellung eines Flugplanes noch jene Mittel näher zu erörtern, die die Erfüllung der beiden letzten obigen Bedingungen ermöglichen. Wir beschränken uns in diesem Rahmen nur auf einige grundlegende Hinweise.

Bei der Flugplanung ergibt sich vorerst mit dem zur Erreichung der gestellten Aufgabe notwendigen Bildmaßstabsverhältnis $M_b = 1 : m_b$ und der Brennweite f der verfügbaren Kammer die erforderliche Flughöhe H.

Aus der Abb. 210 lesen wir die Beziehungen ab, die zwischen diesen Größen sowie dem in der Richtung der Basis b nutzbaren Bildformat l und der entsprechenden Geländestrecke L bestehen, unter der Annahme, daß zwei aufeinanderfolgende Bilder das Gelände in Richtung des Fluges p-prozentig überdecken, nämlich

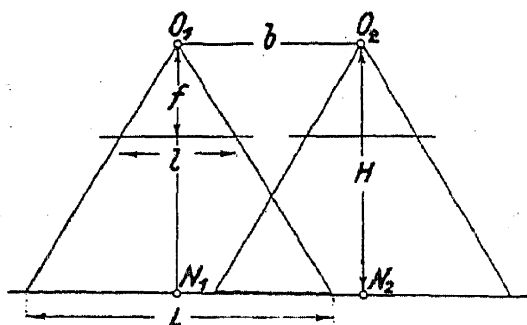



Abb. 210.

$$1 : m_b = f : H = l : L, \quad L - L\frac{p}{100} = b,$$

$$b = L\frac{100 - p}{100} = l\, m_b \frac{100 - p}{100}.$$

Zur klaglosen stereoskopischen Auswertung normaler Bildreihen wählt man eine $\frac{2}{3}$-Überdeckung, d. h. $p \doteq 67\%$, und erhält demnach die Faustregel $b = \frac{L}{3}$. Ist ein großes Gebiet durch mehrere parallel nebeneinander liegende Flugstreifen aufzunehmen [38,53], dann wird mit einer seitlichen Überdeckung von $q = 33$—50% gearbeitet, und den zugehörigen Abstand a der parallelen Flugwege findet man, wenn t das zweite nutzbare Bildformat darstellt, aus der Beziehung

$$a = t\, m_b \frac{100 - q}{100}.$$

38,21 Aufnahme- und Navigationsgeräte

Die bei modernen Vermessungsflügen überall in Verwendung stehenden Reihenmeßkammern[55] (RMK) unterscheiden sich so geringfügig, daß wir uns zu ihrer Kennzeichnung auf die nachfolgenden bewährten und zweckentsprechenden Typen beschränken.

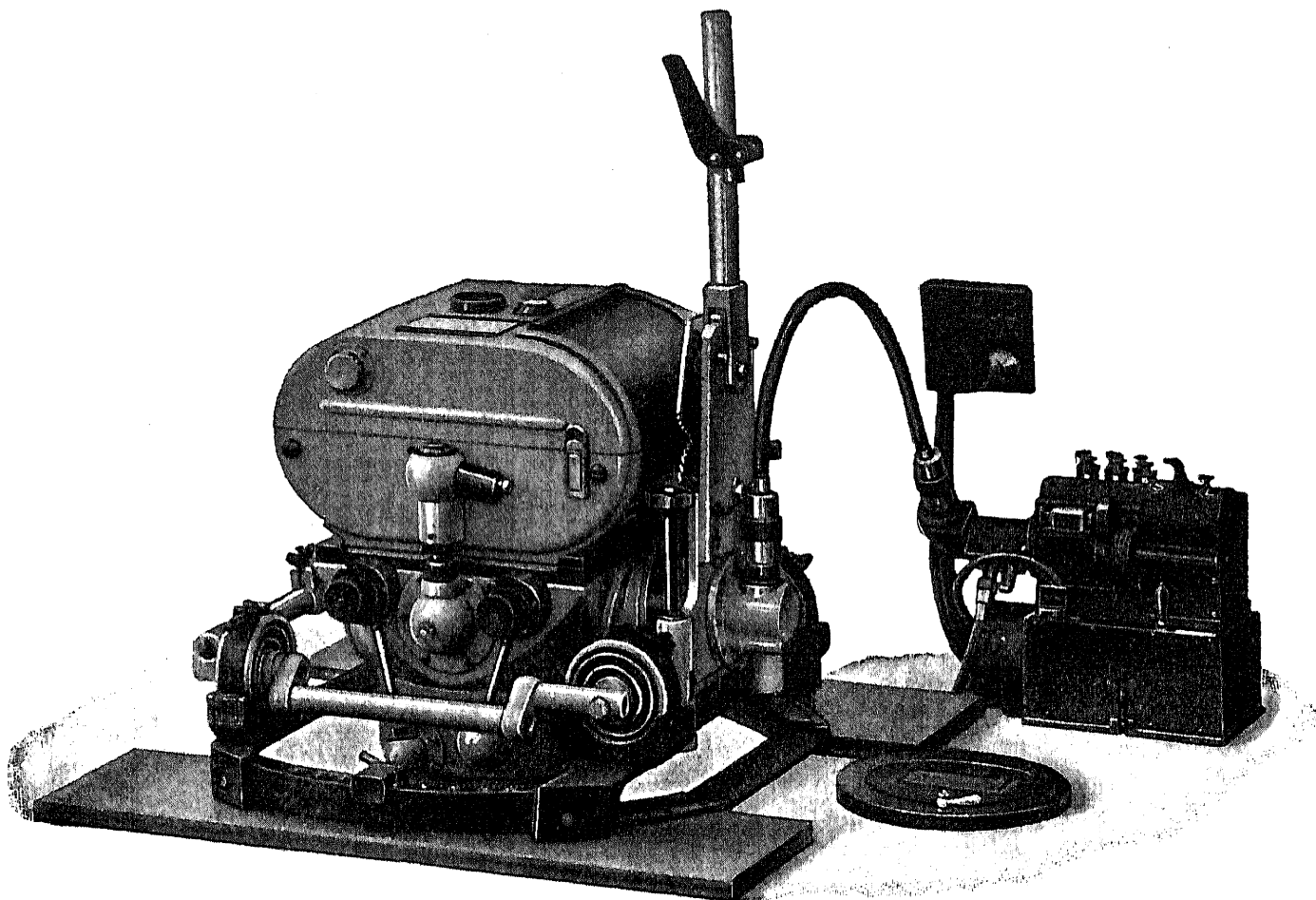



Abb. 211. *(Zeiß-Aerotopograph)*

Kammer mit aufgesetzter Filmkassette, Schwenkarm für Einstellung der Kippung, vorne sichtbarer Ring mit Teilung für Abtrift, rechts rückwärts elektrischer Antrieb, davor Überdeckungsregler.

Zeiß RMK P 21, Brennweite $f = 21$ cm, Bildformat 18×18 cm, Objektiv *Orthometar* 1 : 4,5 (Abb. 211),

Zeiß Weitwinkel RMK P 10, $f = 10$ cm bzw. 21 cm, 18×18, Objektiv *Topogon* 1 : 6,3,

Zeiß Weitwinkel RMK 20/3030, $f = 20$ cm, 30×30, Objektiv *Topogon*[118] 1 : 6,3,

Wild[55a] vollautomatische Reihenbildfilmkammer RC 5 (Abb. 212), 18×18 cm, mit Kammerstutzen für $f = 21$ cm, Normalobjektiv 1 : 4,5 oder Spezialobjektiv *Aviotar* 1 : 4,2 bzw. mit Kammerstutzen für $f = 11{,}5$ cm, Weitwinkelobjektiv 1 : 5,5,

Wild[55b] v o l l a u t o m a t i s c h e P l a t t e n k a m m e r R C 7 (Abb. 213 a, 213 b), 15 × 15 cm, $f = 16{,}5$ cm, Spezialobjektiv[55c] *Aviotar* 1 : 4,2.

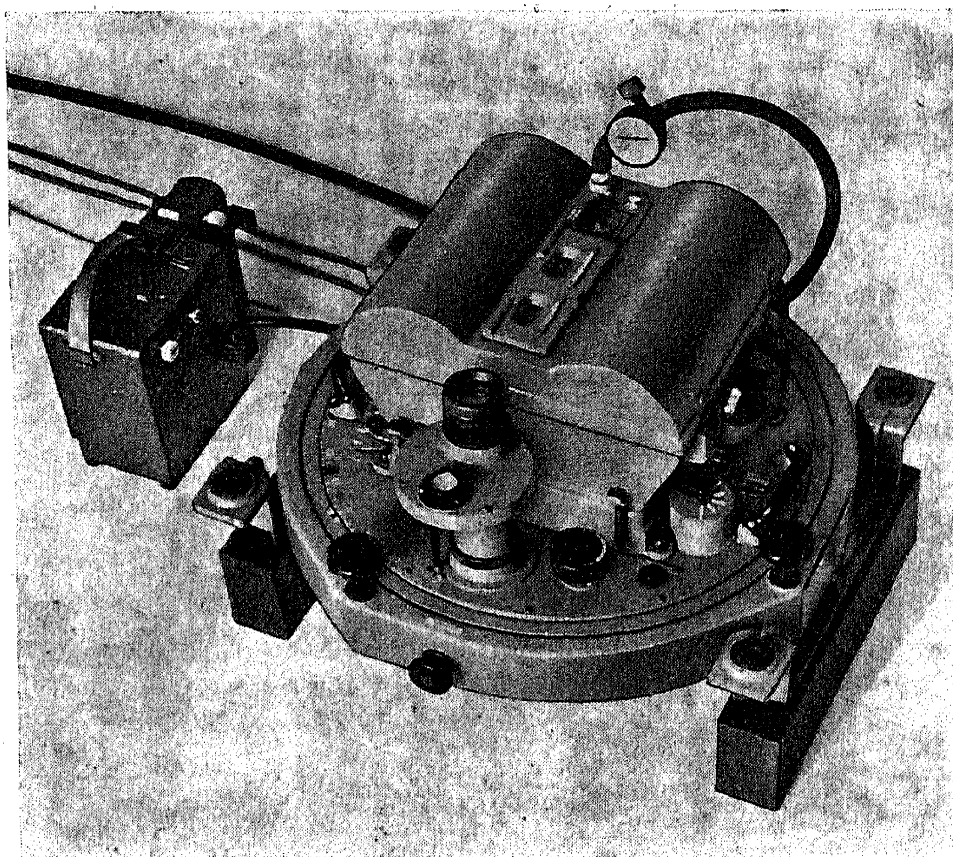



Abb. 212. (*Wild.*)

Wild RC5-Kammer mit aufgesetzter Filmkassette, links Motor mit stufenlosem Getriebe, vor der Kassette Sucherfernrohr zum Überdeckungsregler.

Stutzenkammern bzw. Mehrstutzenkammern, wie z. B. die erwähnte *Wild* R C 5 bzw. mehrere der *Zeiß*-RMK, können durch austauschbare Stutzen mit Objektiven von verschiedener Brennweite wahlweise bestimmten Aufnahmezwecken und Bildmaßstabsverhältnissen angepaßt werden.

Bei allen Kammern bürgen die hochwertigen Objektive[118] im Verein mit der durch besondere Verschlüsse erreichten g l e i c h z e i t i g e n Belichtung des gesamten Bildinhaltes für eine hervorragende Bildgüte.

Die üblichen Filmkassetten enthalten 60 m Film, was beim Bildformat 18 × 18 cm für 300, beim Format 30 × 30 cm für 180 Aufnahmen ausreicht.

Die bei Filmverwendung unvermeidlichen S c h r u m p f u n g s e r s c h e i n u n g e n[59] [34] veranlaßten die Schaffung der oben er-

1 Notizen	10 Einstellknopf für Blende
2 Verschluß der Kassetten	11 Sucherfernrohr
4 Schalter	12 Horizontierknöpfe
6 Geschwindigkeitsregler	13 Arretierzählwerk
8 Kassettenzählwerk	15 Signallampe
9 Abtriftklemme	16 Überdeckungsregler

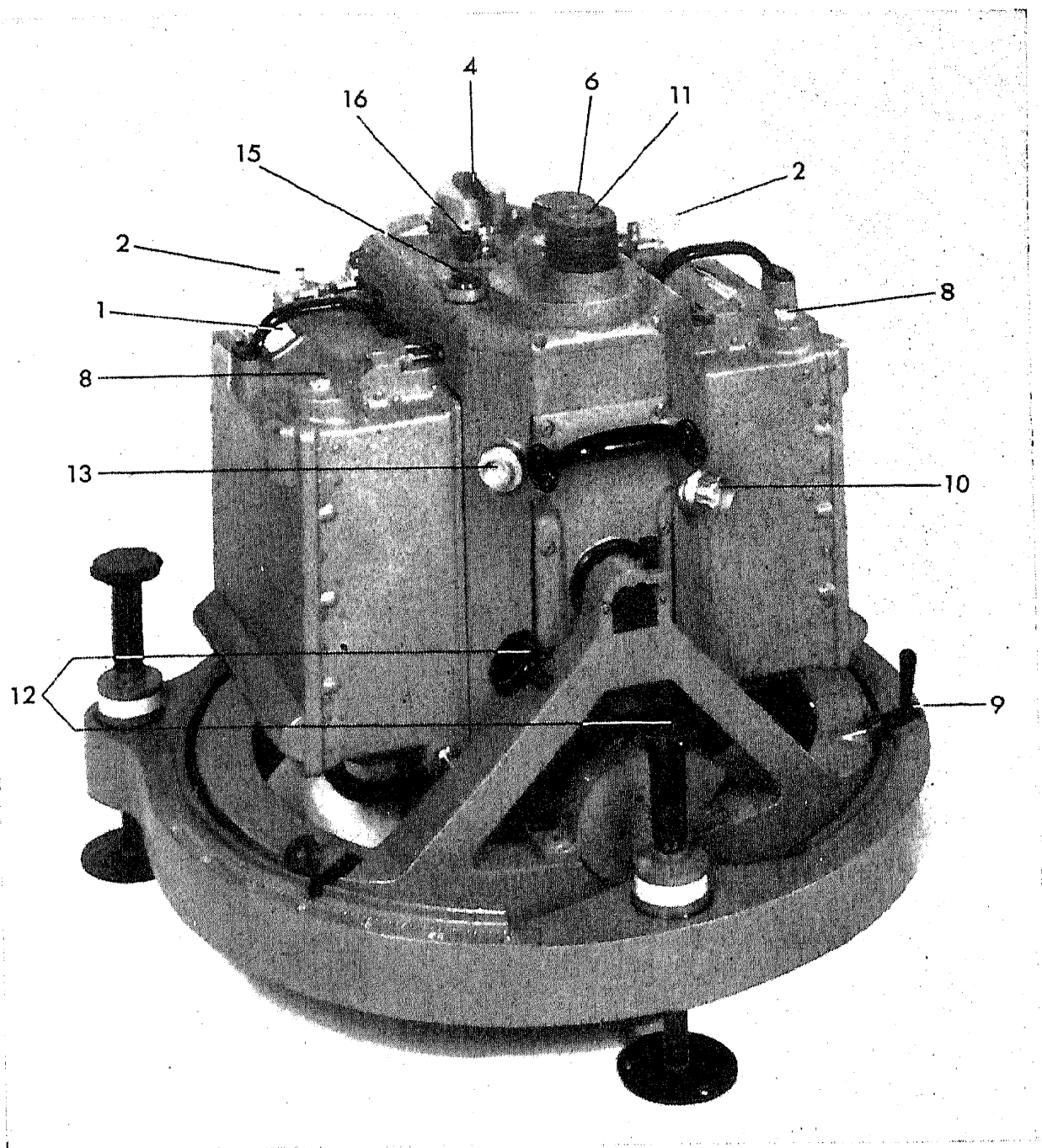
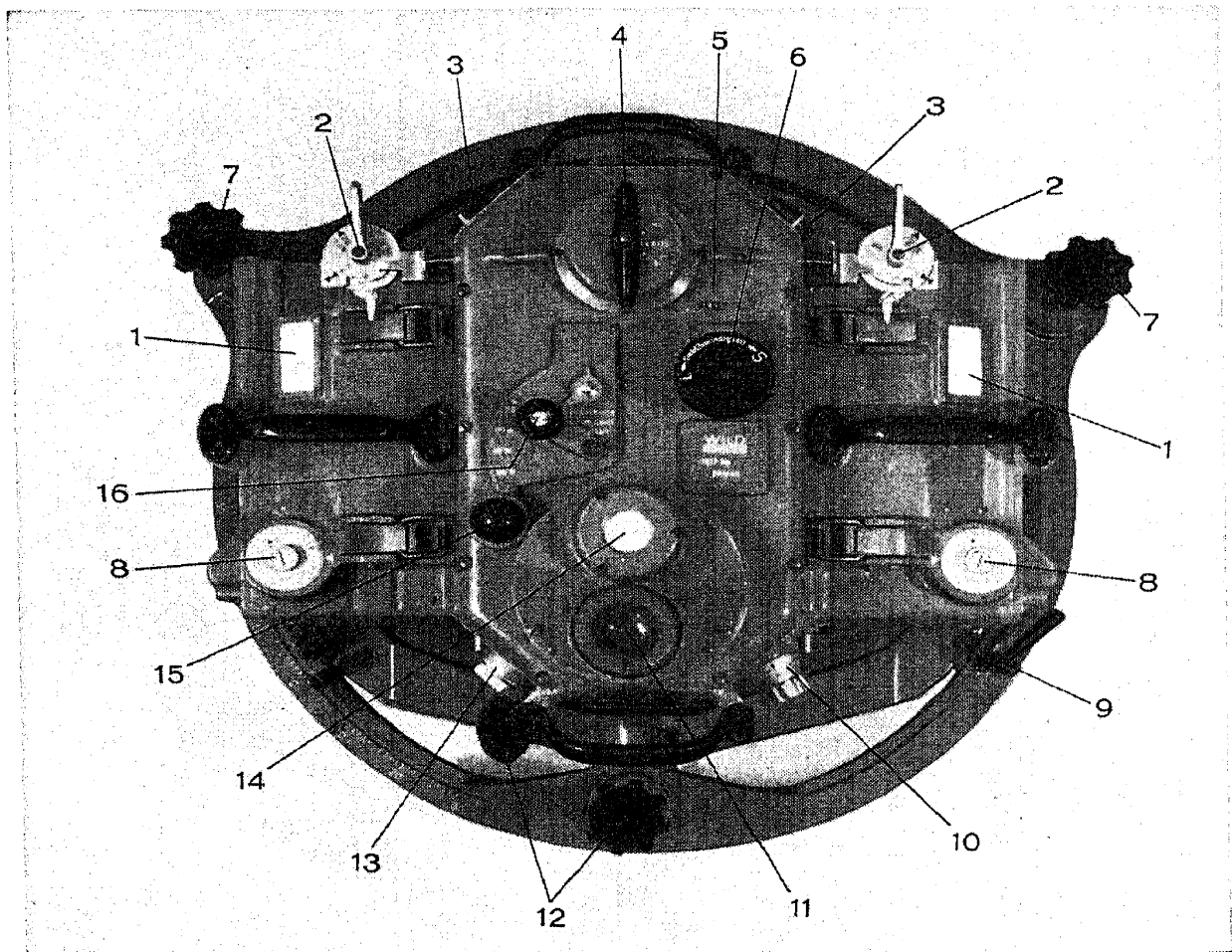
Abb. 213a. *(Wild.)*

1 Notizen
2 Verschluß der Kassetten
3 Kabelanschlüsse für Statoskop, Signallampe, Batterien
4 Schalter
5 Kammerzählwerk
6 Geschwindigkeitsregler
7 Stellschrauben
8 Kassettenzählwerk
9 Abtriftklemme
10 Einstellknopf für Blende
11 Sucherfernrohr
12 Horizontierknöpfe
13 Arretierzählwerk
14 Horizontierlibelle
15 Signallampe
16 Überdeckungsregler

Abb. 213b. *(Wild.)*

wähnten Kammer R C 7 von *Wild* mit ausschließlicher Verwendung von Platten, insbesondere für großmaßstäbliche Präzisionsaufnahmen.

In der folgenden Zusammenstellung a) ist eine Reihe von zusätzlichen Forderungen und Einrichtungen aufgezählt, die den automatischen Ablauf der Aufnahme betreffen.

a) Automatischer Kammerantrieb zur Regelung von Verschlußaufzug und -auslösung. Pneumatische Anpressung und Planlegung des Films. Gleichzeitige Einschaltung aller Lämpchen für die Mitabbildung verschiedener Hilfsregistrierungen (Kammernummer, -brennweite, -libelle usw.) im Zeitpunkt der Belichtung. Überdeckungsregler zur Herstellung der gewünschten Überdeckung für die aufeinanderfolgenden Bilder.

Da eine auch nur zeitweilige Störung oder das Versagen des automatischen Kammerantriebes den Ausfall des betreffenden Bildfluges zur Folge hätte, wird trotz maximaler Arbeitssicherheit der elektropneumatischen Geräte auch noch ein behelfsweiser Handantrieb durch den Beobachter vorgesehen.

Die nachstehend unter b) genannten Hilfsgeräte sind nicht notwendig, aber als erwünscht zu bezeichnen, denn ihre Verwendung erleichtert und kürzt ganz wesentlich den späteren Arbeitsvorgang bei der Orientierung einer Bildreihe.

b) Statoskop (Abb. 214) und Statoskopregistrierkammer (Abb. 215) zur Abbildung der Statoskopstände gleichzeitig mit der Verschlußauslösung der RMK[60].

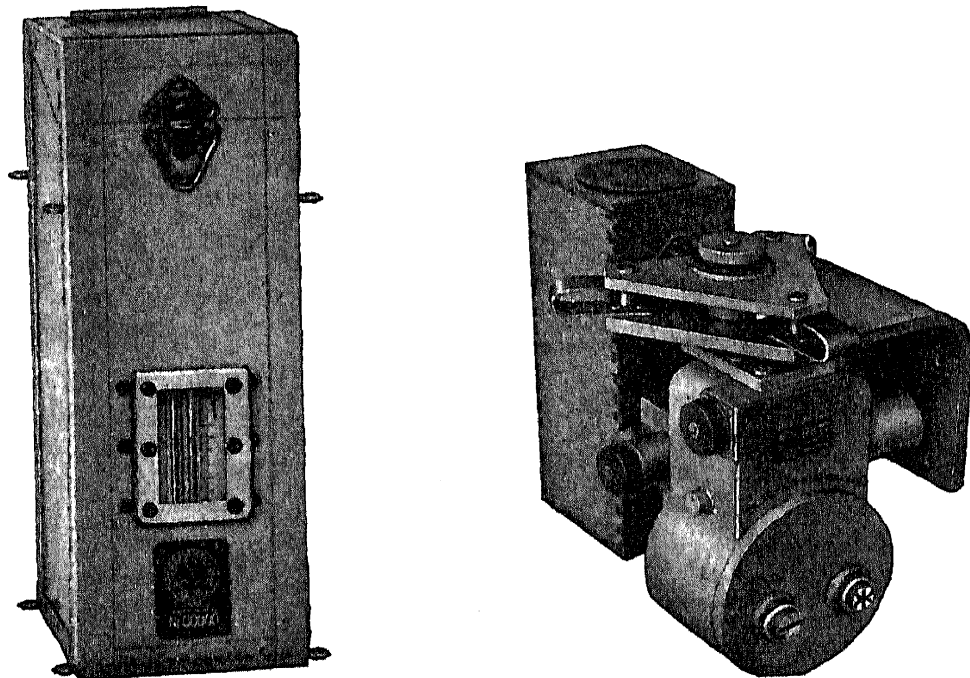



Abb. 214. *(Zeiß-Aerotopograph)*. Abb. 215. *(Zeiß-Aerotopograph)*

Durch die Verwendung von Statoskopen für Navigation und Registrierung ermöglicht man dem Piloten die Einhaltung einer bestimmten Flughöhe innerhalb von etwa ± 5 Meter bei guten Flugbedingungen. Die gleichzeitig mit der Aufnahme erfolgende photographische Standregistrierung (Abb. 216) des bei der Kammer befindlichen Statoskops liefert die Unterlagen für die Bestimmung der Höhenunterschiede von Aufnahme zu Aufnahme.

Jedes Statoskop ist ein empfindliches Meßgerät für kleine Höhenänderungen, die sich an der Bewegung einer Manometerflüssigkeit in einem u-förmig gebogenen Kapillarrohr erkennen lassen. Dieses steht auf einer Seite in Verbindung mit einem Luftbehälter, der in einer Thermosflasche auf gleicher Temperatur gehalten wird und bei den ursprünglichen Statoskopformen nach Erreichung der gewünschten Flughöhe abgeschlossen wurde, wodurch in ihm der entsprechende Vergleichsluftdruck herrschte. Das andere Ende des Kapillarrohres ist dem Außenluftdruck ausgesetzt, so daß der von Höhenänderungen verursachte Druckunterschied Ausschläge der Manometerflüssigkeit bewirkt.

Die von *Wild* verwendete neue Statoskopform nach Oberst *Löfström*[61] ist hahnlos und führt nach Höhenänderungen von etwa 20—40 m zu einem automatischen Druckausgleich mit Hilfe von zwei in das Kapillarrohr eingeschmolzenen Ausgleichskammern.

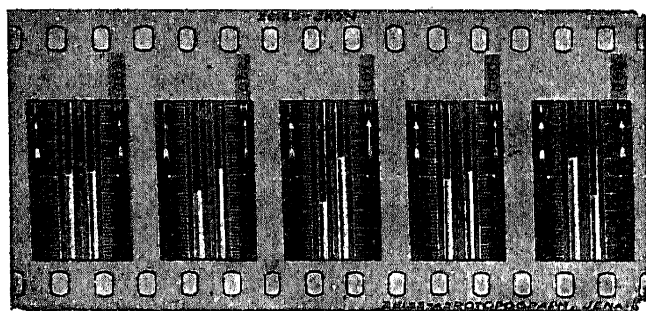



Abb. 216. *(Zeiß-Aerotopograph)*

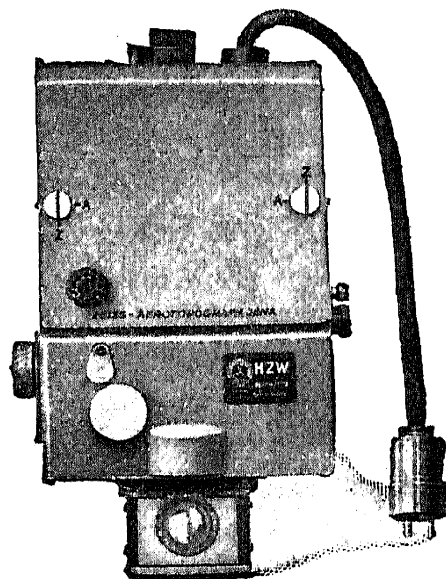



Abb. 217. *(Zeiß-Aerotopograph)*

Horizontzusatzkammer (Abb. 217) für die Abbildung des seitwärts bzw. vor oder hinter dem Flugzeug liegenden Horizontes[62].

Bei gleichzeitiger Verschlußauslösung mit der RMK kann deren Aufnahmerichtung dann durch Ausmessung der Horizontbilder so weit genähert festgestellt werden, daß sich die spätere Orientierung der Bilder in den automatischen Auswertegeräten weitgehend beschleunigt. Bei der nach den Angaben des finnischen Generals *Nenonen*[62a] gebauten Kammer *Zeiß* RMK HS 1818 (Abkürzung für Reihenmeßkammer-Horizont-Statoskop, Format 18 × 18 cm) werden die zwei Horizontbilder mit allen anderen Hilfsregistrierungen gleichzeitig auf dem Filmband entworfen, so daß eine Belichtung das Format 18 × 24 cm deckt, nämlich 18 × 18 cm für das Luftbild und 6 × 18 cm für die Hilfsregistrierung.

Der Vollständigkeit halber nennen wir die nach dem Grundgedanken von *Scheimpflug* konstruierte Panoramenkammer

von *Aschenbrenner*[63], die mit einer Brennweite von $f = 53$ mm ein zentrales und acht randseitig gelagerte Bilder liefert. Durch Umbildung in einem besonderen Gerät erzeugt man ein einziges sehr genaues Bild von einheitlicher Perspektive, das einer Weitwinkelaufnahme von 136° Öffnung entspricht und für Radialtriangulation [38,53] zur Herstellung kleinmaßstäblicher Karten verwendet wird.

Die in mannigfachen Formen konstruierten Koppelkammern sind eine starre Zusammenfassung von bis zu vier Kammern, deren Achsen zur Lotlinie symmetrisch konvergent stehen und bei gleichzeitiger Belichtung Bilder erzeugen, die einen entsprechend vergrößerten Geländeabschnitt überdecken. Mit der Entwicklung der modernen Weitwinkelobjektive, die den ursprünglichen Zweck der Koppelkammern auf einfacherem Weg erreichen, haben diese ihre vormalige Bedeutung verloren.

38,22 Aufnahmevorgang[64]

Bei beendeter Einsteuerung des dem Flugplan entsprechenden Kurses und der Erreichung der geforderten Flughöhe durch den Piloten, schaltet der Beobachter die Wirkung einer vom Seitenwind verursachten Abtrift des Flugzeuges vorerst durch entsprechende Kammerkantung aus. In der vom Piloten gewählten und für den ganzen Flugstreifen festzuhaltenden Trimmlage des Flugzeuges stellt dann der Beobachter die Verschwenkung und Kippung des gewünschten Aufnahmefalles ein, z. B. für Senkrechtaufnahmen durch Einspielenlassen der Kammerlibelle. Nach Einstellung des Überdeckungsreglers auf die geforderte Bildfolgezeit bringt der Beobachter die Aufnahmeapparatur in dem Augenblick in Gang, wo die Nadirmarke, z. B. des Überdeckungsreglers, am Kurs durch den ersten geforderten Aufnahmeort wandert.

Da die einwandfreie Arbeit sämtlicher Geräteteile dem Beobachter durch das Aufleuchten von Signallämpchen angezeigt wird, kann dieser in aller Ruhe dem Ablauf der Aufnahme folgen, durch Vergleich des im Überdeckungsregler erkennbaren tatsächlichen Flugweges mit dem vom Flugplan geforderten.

Bei Flügen mit Statoskopnavigation und -registrierung mußten bei Erreichung der Aufnahmeflughöhe die Hähne der älteren Statoskopformen gleichzeitig abgeschlossen werden.

Für die neuen *Löfström-Wild*-Statoskope wird, nach dem letzten automatischen Druckausgleich, die Übereinstimmung der Kuppen in den Kapillaren des Registrierstatoskops durch Höhenänderung des Flugzeuges bewirkt. Am Navigationsstatoskop legt man gleichzeitig eine der Kuppen durch den Index fest und hält die Flughöhe nach diesem weiter[61].

Das befriedigende Gelingen eines Reihenbildfluges, insbesondere bei mehreren nebeneinander liegenden Parallelstreifen, ist nicht nur von günstigen meteorologischen Flug- und Aufnahmeverhältnissen abhängig, sondern auch ganz wesentlich von einer ruhigen und durch kein Ereignis störbaren Zusammenarbeit zwischen *Emil*, dem Flugzeugführer, und *Franz*, dem Beobachter, wie man die beiden in der Sprache der Bildflieger auch heißt.

Gelingt dem ersteren eine saubere Kurshaltung hinsichtlich Geradlinigkeit, Höhenkonstanz und bester Übereinstimmung mit dem Flugprojekt und sorgt der letztere durch oftmalige Überprüfung aller Geräte am Boden für ihren einwandfreien Gang beim Ablauf der späteren Aufnahme, so werden deren Ergebnisse, dank der hohen Vollkommenheit der Instrumente und sonstigen technischen Einrichtungen, allen berechtigten Forderungen entsprechen.

Benützt man schließlich die zur Verfügung stehenden automatischen Umspulapparate während der Feinkornausgleichsentwicklung der Filme in ihrer vollen Länge und sorgt danach für völlig staubfreie sachgemäße Trocknung der Filmbänder[65], so ist größte Gewähr gegeben, nicht nur für in den feinsten Einzelheiten durchgezeichnete Negative, sondern insbesondere auch für eine möglichst geringe unregelmäßige Filmschrumpfung. Diesen letzten Mangel hat man, vor allem in der Schweiz, mit Hilfe der vollautomatischen Kammer RC 7 von *Wild* [38,21] durch ausschließliche Verwendung von Platten bei besonders präzisen Arbeiten ausgeschaltet.

38,3 Luftbildlesen[66]

Als Luftbildlesen bezeichnen wir die Durchforschung von Luftbildern zur Erkennung und Deutung ihres Inhaltes. Wenn schon das Kartenlesen, bei den immerhin nur wenigen Signaturen und sonstigen Zeichen, die in einer Karte vorkommen, gelernt und geübt sein will, so gilt dies in besonderem Maß für das Lesen von Luftbildern, mit der auf ihnen naturgetreu dargestellten Fülle von Einzelheiten. Es gibt hier oft Fälle, die sehr zum Nachdenken und zum Vergleich mit ähnlichen, aber bekannten Bildformen und -inhalten zwingen, ehe die Erkennung als zweifelsfrei gelten darf.

Wenngleich die Fähigkeit zum richtigen und raschen Lesen von Luftbildern verhältnismäßig leicht erworben und gesteigert wird, insbesondere wegen der immer wieder auftretenden neuartigen und interessanten Fragen, die sich bei der Deutung der Bildinhalte darbieten, so haben doch die verschiedenen Luftbildlesebücher, die im Rahmen der von der *Hansa Luftbild A. G. Berlin* herausgegebenen Zeitschrift Luftbild und Luftbildmessung[67] erschienen

sind, einen ganz großen Beitrag zur Verbreitung und Vertiefung dieses Wissens geleistet.

In einer umfangreichen Auswahl von Beispielen aus allen Gebieten der Erde, von topographischen Formen und Aufnahmefällen werden hervorragend gedruckte Einzelbilder mit vollständiger Erläuterung des Bildinhaltes als Vorschule dargeboten. Hiebei stellt sich die Erkenntnis ein, daß die Deutung von Zweifeln, die bei der Lesung von Einzelbildern auftreten können, fast mit Gewißheit gelingt, wenn man zur räumlichen Betrachtung übergeht. Die oben genannten Veröffentlichungen fördern die eigene Ausbildung solcher Erfahrungen durch die Gegenüberstellung von Einzelbildern bzw. Anaglyphendrucken von Bildpaaren, die das Raummodell des gleichen Gebietes überblicken lassen und so mit besonderer Eindringlichkeit die Vorteilhaftigkeit der räumlichen Durchmusterung betonen. Nach Erwerbung einer entsprechenden Übung ist es schließlich nicht nur sehr anregend, sondern auch wertvoll, aus Einzelbildern allein auf die Höhenverhältnisse zu schließen, die man, wenigstens in den Großformen, durch den Lauf der Gewässer, Straßen und Wege, aber auch durch die Lagerung der Grundstücke angedeutet findet.

Überaus groß ist auch die Zahl jener Vergleichsunterlagen, die im letzten Krieg für die verschiedensten Gebiete und Flughöhen hergestellt worden sind und deren Zweck es war, die Richtigkeit der Luftaufklärung durch zweifelfreie Luftbildlesung zu gewährleisten.

Auf solchen Vergleichs- oder Testaufnahmen wurden die besonders wichtigen und genau festzustellenden Einzelheiten des Luftbildes, wie etwa Feuchtigkeits- und sonstige Bodenverhältnisse, Holzarten, Formen und Arten von Dünen- und Schotterfeldern, durch unmittelbare Anschauung im Gelände bestimmt und gewissermaßen typisiert. Zweifelhafte Fälle in später zur Beurteilung kommenden Luftbildern von ähnlichem Gelände konnten im Vergleich mit den entsprechenden Testaufnahmen stets gelöst werden.

Als Hauptregel für die Lesung von Luftbildern mit vorhandenem Schattenwurf halte man fest, daß sich die beste Erkennungs- und Deutungsmöglichkeit dann ergibt, wenn bei der Betrachtung die Gegenstandsschatten[67a] zum Beobachter hin fallen.

Eine besondere Fähigkeit, die sich erst allmählich erwerben läßt, u. zw. auch nur von Menschen, die durch dauernde Beschäftigung mit diesem Gegenstand zur Aneignung dieser Gabe angeregt werden, ist die Lesung von photographischen Negativen. Diesen Menschen ist es schließlich ebensowenig auffällig, daß sie das Negativ deuten und etwa auch stereoskopisch ausmessen, wie es dem Geübten gar nicht mehr bewußt wird, daß ein astronomisches Fernrohr die Gegenstände in verkehrter Lage zeigt.

38,4 Einfachste zeichnerische Verfahren zur Auswertung von Einzelbildern

Wirklich einfach zu nennende Verfahren ergeben sich nur bei *senkrechten* oder *nahezu senkrechten* Aufnahmen über *flachem* Gelände mit vernachlässigbaren Erhebungen[68].

Höhenunterschiede $\overline{P_0 P} = h$ (Abb. 218) bewirken bei Senkrechtaufnahmen eine vom Nadirpunkt N aus, in der zugehörigen Lotebene, gegen den Bildrand gerichtete Verschiebung $v = \overline{p_0 p}$, der in der Bezugsfläche K die Strecke $\overline{P_0(P)} = V$ entspricht. Diese Strecken ergeben sich aus Abb. 218 mit den Beträgen

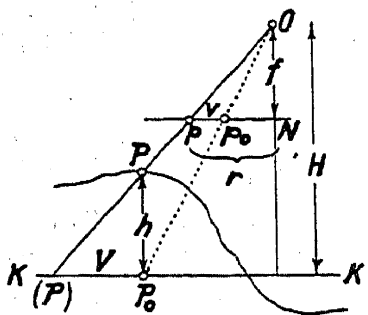



Abb. 218.

$$V = h\frac{r}{f}, \quad v = V\frac{f}{H} = r\frac{h}{H}.$$

Hieraus ist jener Höhenunterschied h gegenüber einer gewählten Bezugsfläche K ermittelbar, der bei einer bestimmten Auswertungsgenauigkeit zu noch vernachlässigbaren Verschiebungen v führt. Für Punkte, die am Formatrand 18×18 cm liegen, wird durch einen Höhenunterschied h von etwa 1% der Flughöhe H bereits eine Verschiebung von $v \doteq 1$ mm erzeugt.

Ähnliche randseitig zunehmende Verzerrungen treten auch bei flachem Gelände auf, wenn die Aufnahmerichtung von der Lotlinie abweicht. Ein solcher Unterschied $\omega \doteq 2^\circ$ wird Verzerrungen $v' \doteq \frac{r^2}{f}\frac{\omega}{\varrho}$ erzeugen, die am Rand des Formates 18×18 cm ($f = 20$ cm) wieder ungefähr $v' \doteq 1$ mm betragen.

Nur angenähert senkrechte Bilder über *nichtflachem* Gelände dürfen *nur dann so wie Senkrechtaufnahmen über flachem Gelände* ausgewertet werden, wenn die erwähnten *Verzerrungen kleiner sind als die geforderte Genauigkeit.*

Die *Übertragung* von Punkten aus Luftbildern in Karten bzw. umgekehrt, u. zw. nur bei hinreichend flachen Geländeteilen, also solchen, deren Höhenunterschiede im Sinne der vorigen Bemerkungen vernachlässigbar sind, kann im Wege des *Papierstreifenverfahrens* erfolgen[69].

Sind mindestens 4 einwandfrei identische Punkte, wie z. B. Bauten, Bahn- und Straßenkreuzungen, für Luftaufnahme signalisierte trigonometrische oder sonstige Paßpunkte [37,5] usw. in Bild und Karte festgestellt, dann können zufolge des Satzes über das Doppelverhältnis [35,2] beliebig viele perspektivisch zugeordnete Punktepaare ermittelt werden (Abb. 219).

Es seien p, a, b, c die vier Bildpunkte und P, A, B, C die identischen Kartenpunkte. Zur Übertragung des im Bild gegebenen Punktes d in die Karte, ziehen wir die vier Strahlen mit dem Zentrum p, legen einen Papierstreifen so auf, daß sich günstige Schnittwinkel ergeben und bezeichnen auf dem Streifen die Schnittpunkte 1, 2, 3, 4. In der Karte zieht man gleichfalls die Strahlen von P nach A, B, C und paßt dann die Marken des Papierstreifens auf die entsprechenden Strahlen ein. Der Streifen erhält damit die Lage 1, 2, 3, und die letzte noch auf ihm vorhandene Marke 4 gibt die Richtung PD an. Durch Wiederholung des Vorganges für ein anderes Zentrum erhält man im Schnitt der entsprechenden Strahlen den Punkt D und bei weiteren Wiederholungen voraussichtlich eine fehlerzeigende Figur, in der der endgültige Punkt D in geeigneter Weise zu bestimmen ist.

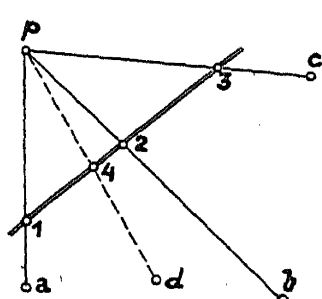
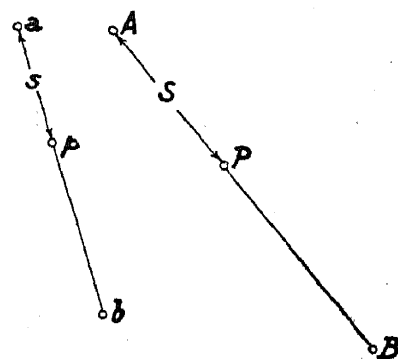
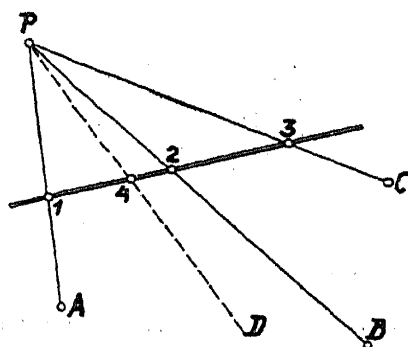



Abb. 219. Abb. 220.

In Senkrechtaufnahmen oder solchen Steilaufnahmen, die genähert noch wie erstere ausgewertet werden dürfen, kann die Übertragung auch mit Hilfe von Richtungslinien erfolgen bzw. durch Interpolation auf ihnen oder mit ähnlichen Dreiecken, durch graphischen Vorwärtseinschnitt von Paßpunkten aus usw.

Im ersten Fall (Abb. 220) mißt man z. B. die Bildentfernungen

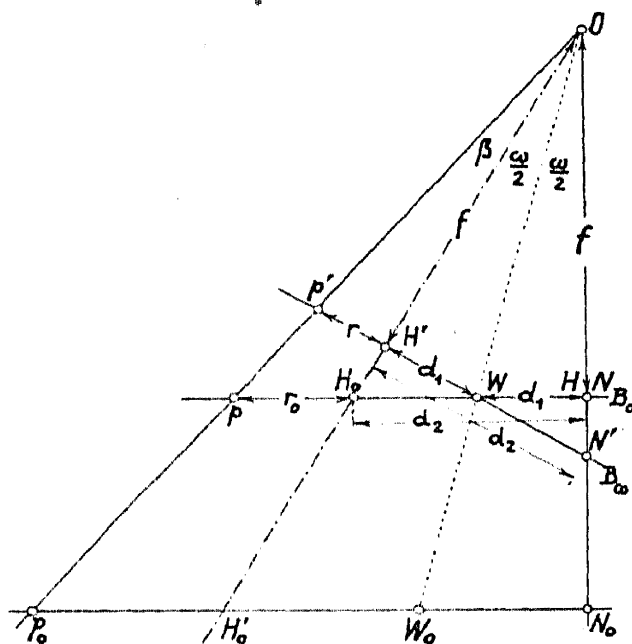



Abb. 221.

$\overline{ab}$, $\overline{ap} = s$ und rechnet mit dem gemessenen Kartenabstand AB die gesuchte Strecke $\overline{AP} = S = \frac{\overline{AB}}{\overline{ab}} s$.

Wenn bei Steil- oder Schrägaufnahmen von flachem Gelände nur einige wenige Punkte, jedoch mit größerer Genauigkeit, in die Karte zu übertragen sind, dann kann man dies punktweise und behelfsmäßig, nach Andeutung von Abb. 221, mit einer sog. Entzerrung der Schrägaufnahme auf das entsprechende Senkrechtbild bewerkstelligen[70].

Bei dieser Aufgabe ist die Lage eines Punktes p der horizontalen Bildebene B_0 aus der Lage des entsprechenden Punktes p' in der unter ω geneigten Bildebene B_ω zu rekonstruieren, wobei wir annehmen, daß die Nadirdistanz ω etwa nach dem Vorgang von [38,41] ermittelt wurde oder sonstwie bekannt ist.

Beachtet man, daß für die im sog. Fokalpunkt W projizierte Schnittlinie von B_ω und B_0 die folgenden Beziehungen gelten, nämlich $\overline{H'W} = \overline{WH} = d_1 = f \operatorname{tg} \frac{\omega}{2}$ bzw. $\overline{H_0H} = \overline{N'H'} = d_2 = f \operatorname{tg} \omega$ und $\overline{H_0W} = \overline{WN'} = d_2 - d_1$, so kann ein für allemal sowohl der Fokalpunkt W durch $\overline{H'W} = d_1$ als auch der Bildnadirpunkt N' durch $\overline{H'N'} = d_2$ auf B_ω festgelegt werden. Anstelle der strengen Lösung, die sich nach Bestimmung von β aus $f \operatorname{tg} \beta = \overline{p'H'} = r$ mit der Gleichung $\overline{pW} = f \operatorname{tg} (\beta + \omega) - d_1$ ergäbe, reicht es in vielen praktischen Fällen und insbesondere bei nur kleinen Nadirdistanzen ω hin, den gesuchten Unterschied $d_3 = r_0 - r$ der von der gemeinsamen Lotlinie ab zu zählenden Bildstrecken $\overline{pH}$ bzw. $\overline{p'N'}$ mit Hilfe der schon früher in [38,4] erwähnten Näherung $d_3 \doteq v' = \frac{r^2}{f} \frac{\omega}{\varrho}$ abzuschätzen.

Wir werden sehen, daß die einwandfreieste und wirtschaftlichste Form der Entzerrung von Steilaufnahmen über flachem Gelände mit Hilfe von Entzerrungsgeräten [38,51] erfolgt. Wenn ein solches nicht zur Verfügung steht, dann kann die Ermittlung der zu einer Senkrechtaufnahme gehörigen Winkel α zwischen den vom Nadirpunkt N ausgehenden Radialstrahlen [38,53] behelfsweise unter Benutzung der sog. Abgreiflinie SS ausgeführt werden. Es ist dies die Schnittlinie von B_0 mit B_ω, und man erkennt aus Abb. 222, daß alle im Schrägbild B_ω von N' ausgehenden Radialstrahlen $N'p'$ (von der festbleibenden Richtung $N'H'$ aus mit α' gezählt) zeichnerisch oder auch rechnerisch auf die im Senkrechtbild B_0 von N ausgehenden Radialstrahlen Np, d. h. auf die Winkel α, rückführbar sind.

Die bis jetzt erwähnten Möglichkeiten für die Übertragung von Einzelpunkten aus Luftbildern in Karten und umgekehrt, sind, wegen der verhältnismäßig umständlichen Arbeitsweise, dann nicht mehr tauglich, wenn es sich um die Einzeichnung von sehr vielen Einzelheiten handelt.

In diesem Fall wird man Bild und Karte mit einem geeigneten, perspektivisch zugeordneten Liniennetz überdecken, u. zw. von solcher Engmaschigkeit, daß die Eintragung der Einzelheiten die gewünschte Genauigkeit erreicht[71].

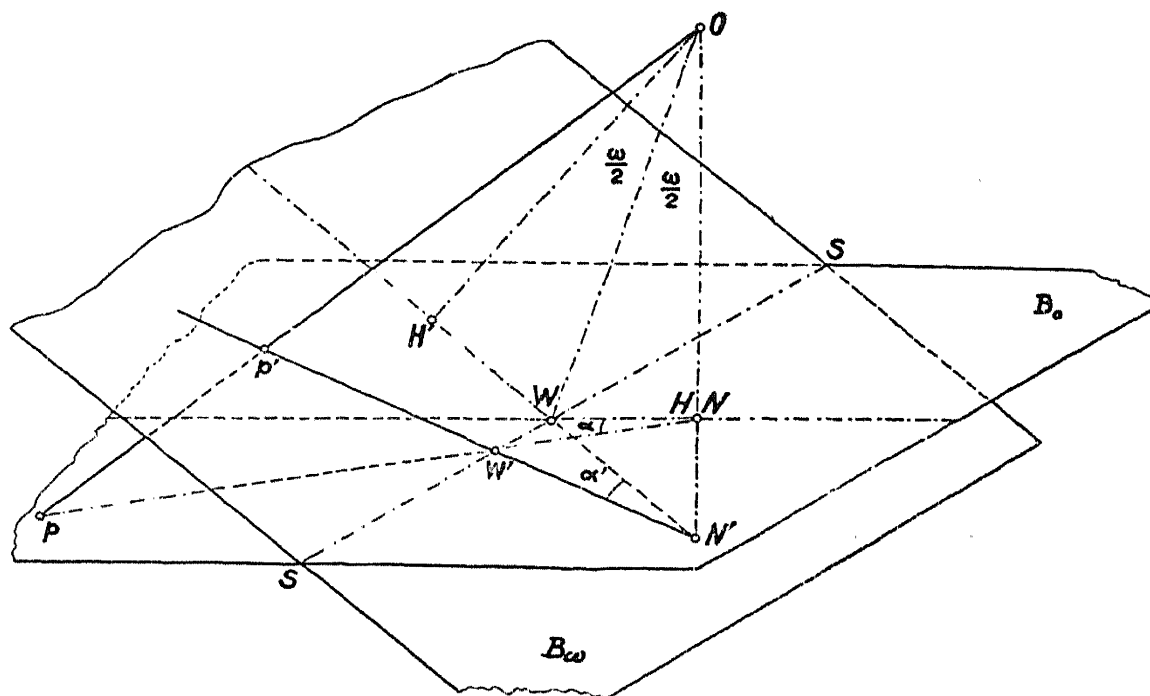



Abb. 222.

Zur Herstellung eines ganz allgemeinen, sog. wilden Bezugsnetzes sind 5 Paßpunkte erforderlich (Abb. 223). Die gewünschte Verdichtung der unregelmäßigen Maschenform ergibt sich über die Verbindungslinien neu entstehender Diagonalenschnittpunkte im Figureninneren.

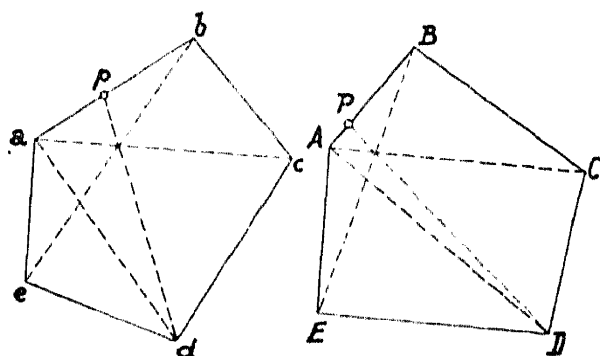



Abb. 223.

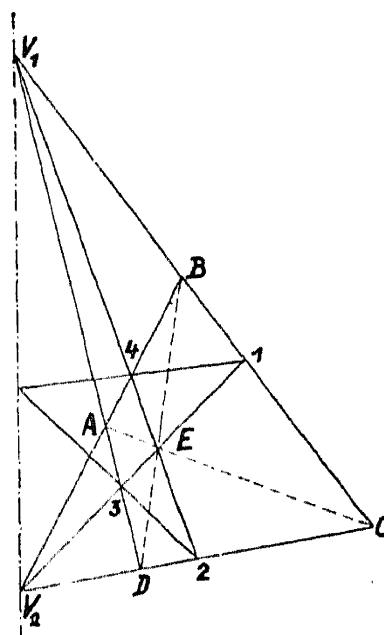



Abb. 224.

Auch bei nur 4 oder 3 verfügbaren Paßpunkten sind, durch hier nicht näher erläuterte Hilfskonstruktionen (z. B.: die Fluchtpunkte V_1, V_2 des Vierecks *ABCD* [Abb. 224] in Verbindung mit dem Diagonalenschnittpunkt *E* führen zu weiteren Stützpunkten 1, 2, 3, 4 auf den Viereckseiten), immer aber durch Auswahl von Punkten in der gegebenen Bildfigur und Übertragung in die zugeordnete Kartenfigur, die zur Netzentwicklung notwendigen Unterlagen herstellbar.

Als *Möbius*-Netz[71] bezeichnet man die Darstellung des geodätischen Kartengitters im Luftbild, aus dem dann unmittelbar die Koordinaten der Bildpunkte entnehmbar sind, u. zw. mit um so größerer und im ganzen Bildfeld gleichbleibender Genauigkeit, je besser der senkrechte Aufnahmefall erreicht ist. Als Ausgangspunkte werden die Ecken *A, B, C, D* eines Gitterquadrates nach einem der angegebenen Verfahren in das Bild übertragen. Sodann entstehen, entweder durch Teilung gleicher Abschnitte oder durch andere Hilfskonstruktionen (bei Schrägbildern z. B. über die Fluchtpunkte der Seiten des Bildviereckes, ähnlich Abb. 225) die Unterlagen für die Zeichnung der Linien des Bildgitters.

Bei allen diesen vorgenannten einfachen Verfahren ist es stets nützlich und für die Entscheidung, ob diese flüchtige Auswertung wie für eine Senkrechtaufnahme erfolgen darf, sogar notwendig, die Elemente der äußeren Orientierung wenigstens mit grober Näherung zu kennen.

38,41 Genäherte Orientierung von Einzelbildern über flachem Gelände[72]

Die Eintragung der Bildecken in eine vorhandene Kartenunterlage vermittelt bereits einen ersten Anhaltspunkt über die Art des Aufnahmefalles. Die Entscheidung hierüber gewinnt man (mit graphischer Genauigkeit) durch Vergleich eines Kartendreieckes mit dem entsprechenden Bilddreieck, wobei die Übertragung nach einem der vorhin angegebenen Verfahren auszuführen ist. Ähnlichkeit bedeutet Senkrechtaufnahme, Unähnlichkeit dagegen Steil- oder Schrägaufnahme.

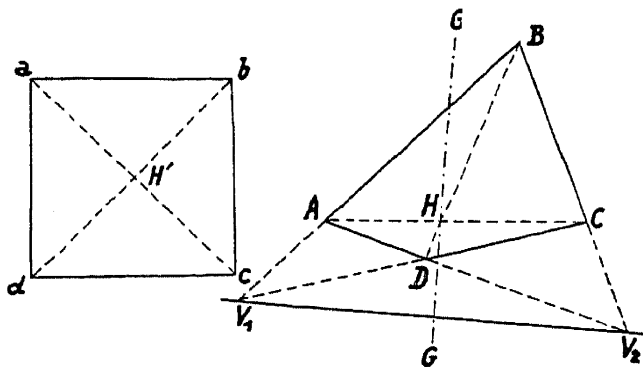



Abb. 225.

Ist das Bildfeld mit den Bildecken in die Karte übertragen (Abb. 225), so ergibt der Diagonalschnittpunkt die Kartenlage *H* des Bildhauptpunktes *H'*. Den im Raum parallelen Bildlinien $ab \parallel dc$ bzw. $ad \parallel bc$ entsprechen für $\omega \neq 0$ die nach den Fluchtpunkten V_1, V_2 strebenden Geraden *AB, DC* bzw. *AD, BC*, und die durch *H* gelegte

Normale GG zur Fluchtlinie V_1V_2 bestimmt die Kartenlage der Aufnahmerichtung.

Bei senkrechten oder nahezu senkrechten Aufnahmen versagt diese Konstruktion, und für Steilbilder, wo sich u. U. sehr weitabliegende Fluchtpunkte ergeben, erzielt man eine behelfsweise Lösung durch Ähnlichkeitsverkleinerung des Bildausschnittes.

Obwohl die zeichnerische Feststellung der äußeren Orientierung eines Luftbildes an sich nur einige primitive Konstruktionen erfordert und eigentlich als eine Aufgabe der Darstellenden Geometrie aufzufassen ist, soll der Vorgang an Hand der Abb. 226 schlagwortartig erläutert werden.

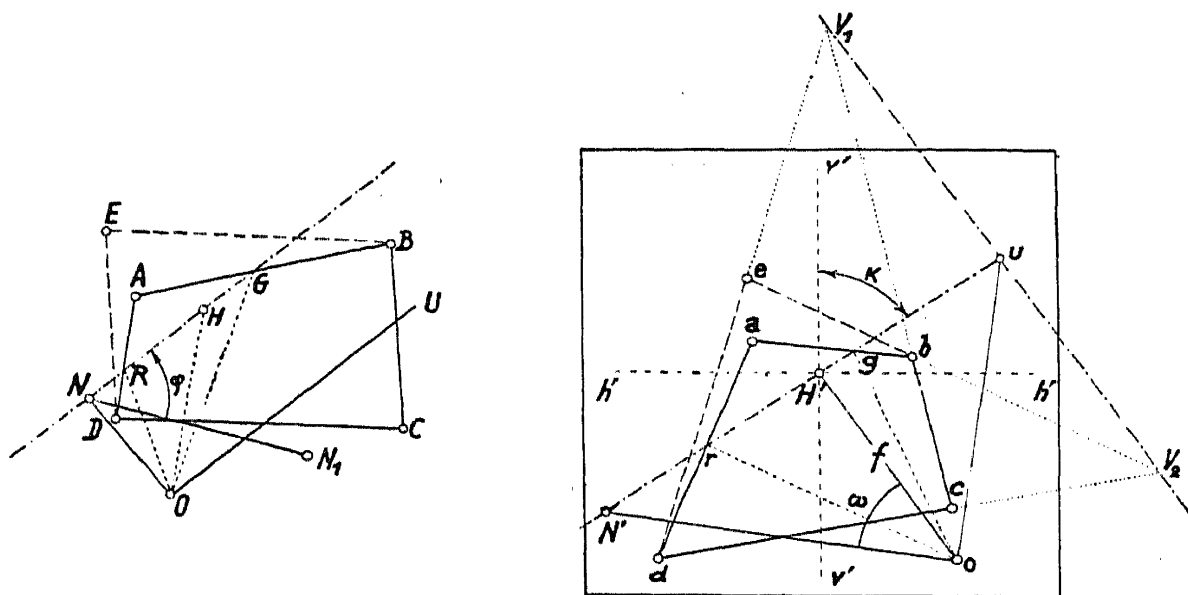



Abb. 226.

1. Vier günstig verteilte Paßpunkte sind hinsichtlich ihrer Lage am Bild (a, b, c, d) und in der Karte (A, B, C, D) gegeben.
2. Zum Viereck in der Karte zeichnet man noch ein Parallelogramm mit dem Endpunkt E, der (mit dem Papierstreifenverfahren) in den Punkt e auf das Bild übertragen wird.
3. Die Bildlinien de, cb bzw. eb, dc paralleler Seiten DE, CB bzw. EB, DC des Kartenparallelogramms streben den Schnittpunkten V_1, V_2 am Bildhorizont zu.
4. Bei Umklappung der lotrechten Ebene durch die Aufnahmerichtung $H'u$ findet man das Projektionszentrum o im Abstand der Brennweite f von H'. Die Richtung $o\,u$ entspricht dem umgeklappten Horizont, so daß die zu ihr durch o gelegte Normale $o\,N'$ auf $H'u$ den Bildnadirpunkt N' abschneidet. Die Nadirdistanz ω der Aufnahme ist damit gefunden.
5. Da bei unverkanteten Aufnahmen die Verbindung der horizontalen Randmarken $h'h'$ parallel zum Horizont liegt bzw. die vertikale Randmarkenverbindung $v'v'$ in die Hauptvertikale fällt, stellt die Abweichung der Fluchtlinie $V_1\,V_2$ von der Richtung $h'h'$ bzw. die der Richtung $H'u$ von $v'v'$ den (in unserem Fall nach [35] negativ zu zählenden) Verkantungswinkel $\varkappa$ dieses Bildes dar.

6. Übertragen wir vorerst die Bildpunkte g bzw. r auf den Bildseiten $a\ b$ bzw. $a\ d$ (z. B. durch Proportionalteilung nach Abb. 220 oder mit dem Papierstreifenverfahren) und hernach auch H' in die zugeordneten Kartenpunkte G bzw. R und H, so ist hiedurch die Kartenlage der Aufnahmerichtung und des Bildhauptpunktes bestimmt.
7. Man zeichnet nun das vom umgeklappten Projektionszentrum o im Bild nach den Punkten N', r, H', g, u ausgehende Strahlenbüschel auf durchsichtigem Papier und paßt das Büschel auf der Karte so ein, daß die Strahlen or, oH', og durch die entsprechenden Kartenpunkte R, H, G gehen bzw. auch der Horizont $o\,u$ parallel zum Grundriß der Aufnahmerichtung, nämlich $\overline{OU} \parallel \overline{HN}$, verläuft. So entsteht die umgeklappte Kartenlage O des Projektionszentrums, ferner auch der zugeordnete Kartennadirpunkt N, und durch Abgreifung im Kartenmaßstab erhält man die Raumkoordinaten (x, y bzw. Seehöhe $\overline{NO}$) des Aufnahmeortes. Bei gegebener Basisrichtung (z. B. $N\ N_1$) ist noch der Verschwenkungswinkel φ der Aufnahme als letztes der gesuchten 6 Elemente der äußeren Orientierung abzulesen. Selbstverständlich kann der Kartennadirpunkt N auch durch Übertragung des Bildnadirpunktes N' mit dem Papierstreifenverfahren ermittelt werden.

38,5 Genauere Verfahren der Luftbildauswertung

Im Verlaufe des bisherigen Überblickes zur Luftbildmessung haben wir wohl gelegentlich erwähnt, daß die stereoskopische Betrachtung von Luftbildpaaren die Erkennung des Bildinhaltes in beträchtlichem Ausmaß fördert, uns aber im übrigen nur mit Einzelbildern und den einfachsten Verfahren zu ihrer Auswertung beschäftigt.

Die verschiedenen hiebei getroffenen Näherungsannahmen und sonstigen einschränkenden Voraussetzungen sowie die angewendeten tatsächlich recht primitiven Mittel könnten es durchaus rechtfertigen, den verhältnismäßig streng erscheinenden Begriff „Auswertung“ hier nicht recht am Platz zu finden.

Tatsächlich wohnt allen diesen Verfahren ein nur behelfsweiser Wert inne, der z. B. für die Zwecke einer militärischen Luftaufklärung und -erkundung oder einer solchen zivilen in Kolonialgebieten ausreichen kann und auch ausreicht. Man hat diese Arbeiten wegen ihrer unbestreitbar wertvollen Hilfeleistung eben auch gar als „Auswertung“ bezeichnet, obwohl sie kaum mehr als eine durch einfache Messungen verschärfte und verfeinerte Luftbildlesung darstellen.

Betrachten wir die in geodätisch aufgeschlossenen Gebieten geltenden zivilen Genauigkeitsforderungen sowohl für die Herstellung von neuen wie auch die Laufendhaltung und Ergänzung von älteren Karten, so drängt sich die Gewißheit auf, daß man die bis jetzt erwähnten einfachsten Verfahren bei solchen erhöhten Genauigkeitsansprüchen nur recht selten und dann mit ziemlicher Unwirtschaftlichkeit anwenden können wird.

Es ist indessen unzweifelhaft, daß diese einfachen Verfahren nicht nur nutzbringende Kenntnisse der Luftbildlesung vermitteln,

sondern auch die zwischen Bild und Karte bestehenden geometrischen Zusammenhänge verdeutlichen und damit das Verständnis für die weitgehend mechanisierten modernen Auswertungsverfahren und ihre Geräte fördern.

Wenn wir nach dieser gedrängten Übersicht einfachster Verfahren noch eine Zeit bei der verfeinerten Auswertung von Einzelbildern verweilen, so deshalb, weil überhaupt Luftbilder dem zu ihrer Lesung Befähigten die reichhaltigste Grundrißdarstellung darbieten, ohne daß irgendwelche weitere Hilfsmittel, als etwa ein Leseglas, notwendig sind.

Wir erkennen indessen, daß nur bei völlig flachem Gelände die ideale Vereinigung von Reichhaltigkeit an Einzelheiten mit einheitlichem Bildmaßstabsverhältnis möglich ist. Die anschließende Besprechung der Entzerrung von nicht senkrecht aufgenommenen Einzelbildern zeigt uns nämlich neuerlich, daß die photographisch-mechanische Umwandlung der Zentralperspektive des Bildes in die orthogonale Projektion der Karte nur dann völlig längentreu ist, wenn das Gelände keine Höhenunterschiede aufweist.

Bei der nachher behandelten Auswertung mit Radialstrahlen, die sich zwar grundsätzlich auf geometrische Zusammenhänge zwischen den Bildinhalten von Einzelbildern bezieht, benützen wir bereits die stereoskopische Betrachtung von Bildpaaren als Hilfsmittel für die deutlichere Erkennung und Feststellung von Paßpunkten in zwei oder mehreren benachbarten Einzelbildern.

Alle weiteren Verfahren sind grundsätzliche Anwendungen bzw. Ausnutzungen des menschlichen Raumsinnes und ermitteln die Grundriß- bzw. Höhendarstellung einer Karte immer mit Hilfe eines subjektiv oder objektiv betrachtbaren optischen Modells, das durch stereoskopische Vermessung seiner Form tatsächlich und im vollen strengen Sinn des Wortes einer „Auswertung" zugeführt wird.

38,51 Entzerrung

Der Vorgang der Entzerrung[73] beseitigt auf optisch-photographischem Weg jene Bildverzerrungen, die als Folge einer gegen flaches

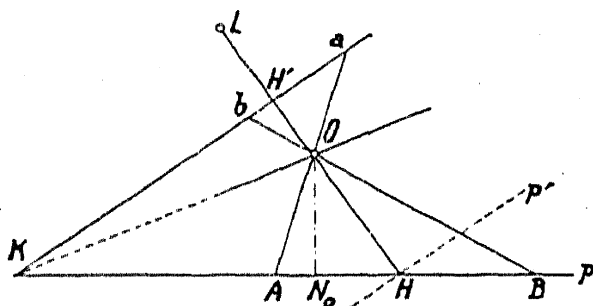



Abb. 227.

Gelände nicht senkrechten Aufnahmeachse eintreten, bei gleichzeitiger Herstellung eines bestimmten Maßstabsverhältnisses für das entzerrte Bild.

Das von der Lichtquelle L (Abb. 227) durchleuchtete Negativ $b\,H'\,a$ wird durch das Objektiv O in BHA auf der Schirmfläche oder Positivebene P abgebildet.

Die Entzerrung ist möglich, wenn die Kartenlage von vier Bildpunkten gegeben ist. Da dieses Einpaßviereck fünf unabhängige Bestimmungsstücke benötigt, muß ein Entzerrungsgerät fünf Einstellmöglichkeiten (Freiheitsgrade) besitzen, um das Bildviereck mit dem Kartenpunktviereck in Übereinstimmung bringen zu können.

Eine geometrisch richtige Projektion entstünde dann in der Positivebene, wenn diese gegen die Negativebene unter der Nadirdistanz ω der Aufnahmeachse geneigt ist, wenn das Aufnahmeobjektiv auch als Projektionsobjektiv dient und die Hauptwaagrechte des Negativs zur Positivebene parallel liegt.

Die Abbildung wird indessen unscharf sein, weil dem zu entzerrenden Negativ immer sehr große Gegenstandsentfernungen zugeordnet waren.

Zur Erreichung der Scharfabbildung muß das Projektionsobjektiv eine kürzere Brennweite f' erhalten und die sog. *Scheimpflug*-Bedingung[74] erfüllen, die es erfordert, daß die Objektivebene durch die Schnittlinie K der Negativ- und Schirmebene hindurch geht.

Diese Brennweite f' ergibt sich aus der Abbildungsgleichung für die Negativebene KH' und die zu ihr parallele Positivebene HP', nämlich

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{\overline{H'O}} + \frac{1}{\overline{HO}}.$$

Das Maßstabsverhältnis der Entzerrung ist durch den Quotienten aus dem Abstand ON_0 zur Flughöhe bestimmt.

Bei den modernen vollautomatischen Entzerrungsgeräten[74] wird die Scharfabbildung in der Auffangfläche HP durch Steuerungen verschiedener Art bewirkt. Der Arbeitende wendet, unter Beachtung einer bestimmten Regel, seine Aufmerksamkeit nur der Verlegung der Bildpunkte auf die am Projektionstisch HP gegebenen Paßpunkte zu, während das Gerät die Scharfabbildung automatisch steuert.

Mit dem großen Entzerrungsgerät SEG I von *Zeiß-Aerotopograph* können Negative bis zum Format 30 × 30 cm in Vergrößerungsverhältnissen von 0,7fach bis 5fach entzerrt werden, bei einer nutzbaren Bildfläche von 1 × 1 m. Die größte entzerrbare Nadirdistanz beträgt etwa 40°.

Das kleinere Entzerrungsgerät SEG IV von *Zeiß-Aerotopograph* hingegen liefert, wieder für Negativformate bis zu 30 × 30 cm, 0,7fach bis 2,5fach ver-

größerte entzerrte Bilder bis zum Format 60 × 60 cm für Aufnahmeneigungen unter 14° Nadirdistanz.

Von den *Wild*-Werken in Heerbrugg wurde das Entzerrungsgerät E 2 konstruiert, das Negative bis zum Format 30 × 30 cm in 0,5facher bis 5facher Vergrößerung auf einer Tischfläche von 80 × 100 cm entzerrt. In der größten Tischneigung von etwa 40° können Schrägaufnahmen bearbeitet werden, deren Nadirdistanzen ω von der Aufnahmebrennweite f abhängen und z. B. für $f = 210$, 165, 115 mm den Beträgen $\omega \doteq 43°$, 32°, 22° entsprechen.

Die zur Entzerrung notwendigen 5 Bedingungen kann man in verschiedener Art konstruktiv verwirklichen.

Das Entzerrungsgerät *Wild* E 2 löst z. B. die Aufgabe mit den folgenden 5 Bewegungen:

1. Abstandsänderung zwischen Negativ-, Objektiv- und Positivebene zwecks Herstellung der gewünschten Vergrößerung,
2. Kippung der Positivebene,
3. Kantung des Negativs,
4. Verschiebung des Negativs in seiner Ebene senkrecht zur Kippachse,
5. Verschiebung des Negativs in seiner Ebene normal zur Kippachse.

Das Entzerrungsgerät SEG IV von *Zeiß-Aerotopograph* benützt gleichfalls die oben angegebene Bewegung zur Herstellung der Vergrößerungsbedingung, ferner 2 Drehungen des Projektionstisches um zwei zueinander normale Kardanachsen und schließlich (entsprechend den beiden letzten obigen Bewegungen) 2 Verschiebungen des Negativs in seiner Ebene parallel zu den beiden Kardanachsen.

Aufnahmen, deren äußere Orientierung aus Hilfsmessungen und -registrierungen (Statoskop, Horizontkammern) gegeben ist, sind auch ohne Paßpunkte entzerrbar, wenn die Raumlage von Objektiv und Kammerachse durch entsprechende Geräteeinstellungen rekonstruiert wird.

Das Ergebnis der genauen und in einem bestimmten Maßstabsverhältnis ausgeführten Entzerrung eines Bildes von ebenem Gelände bezeichnet man als Luftbildplan[75]. Es wird stets möglich sein, solche Einzelentzerrungen mit Nachbarbildern zu größeren gedeckten Flächen zusammenzufügen.

Dies ist dann nicht der Fall, wenn wohl genaue Entzerrungen, jedoch von hügeligem Gelände vorliegen, da die randseitig verbleibenden Restfehler, als Folge der Höhenunterschiede [38,4], den klaglosen Zusammenschluß stören oder verhindern.

Durch Ausnützung der mittleren Teile um den Nadirpunkt der entzerrten Bilder oder geschickte Überbrückung der z. B. nur geringen Klaffungen in nicht entzerrten Bildern von ebenem Gelände entstehen sog. Luftbildskizzen[75].

Die Tatsache, daß Luftbildpläne und -skizzen sämtliche Einzelheiten der Erdoberfläche in größter Deutlichkeit und Naturtreue wiedergeben, hat dieser Art der Luftbildbenutzung große Beliebtheit und Verbreitung gesichert.

Wichtige Einzelheiten können je nach dem Zweck des Planes oder der Skizze durch Eintragung von Kartensignaturen,

Abgrenzungen und Beschriftungen ebenso hervorgehoben werden, wie es möglich ist, Kartengitter schon bei der Entzerrung aus mitabgebildeten Gitterfolien zu erhalten oder erst nachträglich, an Hand von Paßpunkten, einzutragen.

38,52 Luftbildumzeichner[76]

Dieses abgekürzt als LUZ bezeichnete kleinste Gerät (Abb. 228) für genäherte Entzerrung ist eine durch *Zeiß-Aerotopograph* ausgeführte moderne Konstruktion der früher zum Vergrößern und Verkleinern bzw. überhaupt zum mechanischen Nachzeichnen von Gegenständen benutzten Camera lucida.

Ein Prisma mit halbversilberter Fläche bietet dem durchblickenden Auge Bild und Karte gleichzeitig, da durch die halbversilberte Prismenfläche das virtuelle Bild des Luftbildes auf die Kartenoberfläche subjektiv sichtbar projiziert wird. Mit entsprechender Verdrehung des Prismas und Abstandeinstellung von Bild—Prisma—Karte, unter Zwischenschaltung von Vorsatzlinsen, können identische Bild- und Kartenpunkte genähert zur Deckung gebracht und in der Karte noch fehlende Einzelheiten, die das darüberprojizierte Bild angibt, ergänzt werden.

Den Helligkeitsunterschied zwischen Bild und Karte überbrückt man durch verschieden dichte Umbralgläser.

Die Einpassung eines Bildviereckes auf das entsprechende Kartenviereck ist deshalb nur genähert möglich, weil das Gerät nur 3 Einstellmöglichkeiten besitzt, anstelle der für strenge Entzerrung geforderten 5 Freiheitsgrade.

Während des letzten Krieges wurde bei zahlreichen Überprüfungen für tatsächlich flaches Gelände im Durchschnitt eine Einpaß- und Übertragungsgenauigkeit von etwa $\pm$ 0,6 mm erreicht.

38,53 Auswertung mit Radialstrahlen[77]

Radialstrahlen gehen von Bildpunkten mit besonderen Eigenschaften aus, wie etwa dem Hauptpunkt H, dem Nadirpunkt N oder dem Fokalpunkt W [38,4].

Bei Senkrechtaufnahmen fallen diese Punkte auf der waagrechten Bildfläche in H zusammen, und die Winkel zwischen den Radialstrahlen sind die gleichen, die man auch mit einem Theodolit beobachten würde, der in dem H entsprechenden Bodenpunkt N_0 (Abb. 221) meßgerecht aufgestellt ist.

Man kann diese Eigenschaft dazu benützen, um in den aufeinanderfolgenden Aufnahmen einer Senkrechtbildreihe ein Triangulierungsnetz in Form von sog. Rautenketten zu entwerfen, mit den Hauptpunkten als Zentren für die in den Bildern zu messenden Richtungen der Radialstrahlen.

Wegen der für Höhenbestimmung wohl auch verwendbaren, aber ungünstigen Verhältnisse dient die Radialtriangulation fast ausschließlich zur Grundrißermittlung.

Im Gelände vorhandene beliebig große Höhenunterschiede *h* haben auf die bei Senkrechtaufnahmen in *H*, *N*, *W* ermittelten Radialrichtungen keinen Einfluß, weil die entsprechenden Verzerrungen (Abb. 218) [38,4] in die Richtung der Radialstrahlen fallen.

In Schrägaufnahmen rücken die drei erwähnten Punkte auseinander, wobei wohl der Hauptpunkt *H* mit Hilfe des Bildachsenkreuzes immer leicht feststellbar bleibt, der Nadir- bzw. Fokalpunkt aber nur mehr recht ungenau aus dem Stand der abgebildeten Libellenblase usw. bestimmt werden kann.

Entweder das nicht völlige Zutreffen der vorausgesetzten Senkrechtaufnahme oder die nur beschränkt mögliche Berücksichtigung der Neigung wie auch die Abweichungen von ebenem Gelände führen zur Entstehung von Fehlern, die wir nachfolgend kurz betrachten.

Liegt eine Aufnahme von nicht flachem Gelände mit der Nadirdistanz ω vor, dann sind die durch *H* gezogenen Radialstrahlen von zweierlei Richtungsfehlern verfälscht.

Ist nämlich die Stehachse des in *H* angenommenen Theodolites nicht lotrecht, sondern unter einem Stehachsenfehler vom Betrag der Nadirdistanz ω nach dem Aufnahmeort gerichtet, so werden die Richtungen im horizontalen Gelände von denen im unter ω geneigten Bild abweichen.

Der zweite Fehleranteil ist eine Funktion der Höhenunterschiede und Entfernungen der Radialstrahlenendpunkte vom Hauptpunkt und mit jenem Fehler vergleichbar, den wir als Einfluß eines Stehachsenfehlers auf die Richtungsmessung bei geneigter Zielung [19,4] kennenlernten.

Diese Richtungsfehler erreichen für Nadirdistanzen bis zu 4^0 und für praktisch auftretende Höhenunterschiede bzw. Radialstrahllängen Beträge von etwa $\pm 3'$, was also im allgemeinen gerade der Genauigkeit entspricht, mit der man auf Lichtbildern oder Zeichnungen Richtungen zu messen vermag.

Im Verlauf eines Bildfluges mit beabsichtigten Senkrechtaufnahmen, der modernen Anforderungen entspricht, insbesondere eines solchen mit vollautomatischer Dreiachsensteuerung des Flugzeuges, können zufolge der unvermeidlichen Pendelungen maximale Schwankungen der Kammerachse bis zu 4^0 Nadirdistanz auftreten.

Werden solche Bilder wie genaue Senkrechtaufnahmen weiter verarbeitet und die Radialrichtungen im Hauptpunkt gemessen, dann entstehen demnach keine größeren als die angegebenen Richtungsfehler von bis zu $\pm 3'$.

Auf Radialrichtungen, die im Nadirpunkt gemessen sind, haben Höhenunterschiede keinen Einfluß, da die von ihnen bewirkten Verzerrungen wieder in die Richtung der Radialstrahlen

fallen. Vorhandene Neigungsfehler verursachen indessen auch bei flachem Gelände Richtungsfehler vom oben angegebenen Ausmaß.

Wie in Abb. 221 angedeutet ist, ergibt sich die Lage des Fokalpunktes W im Schrägbild bzw. W_0 im Gelände dort, wo die Symmetrale zwischen der geneigten Aufnahmeachse OH' und der durch das Projektionszentrum gelegten Lotlinie das Bild B_ω bzw. die horizontale Geländeebene trifft. Das um diese Symmetrale $O\,W\,W_0$ liegende Bildstrahlenbündel durchstößt daher die Bild- und Geländeebene symmetrisch, so daß die von W bzw. W_0 nach den Punkten der Bildebene B_ω bzw. der Geländeebene ausgehenden Radialstrahlenbüschel sich ineinander winkeltreu abbilden.

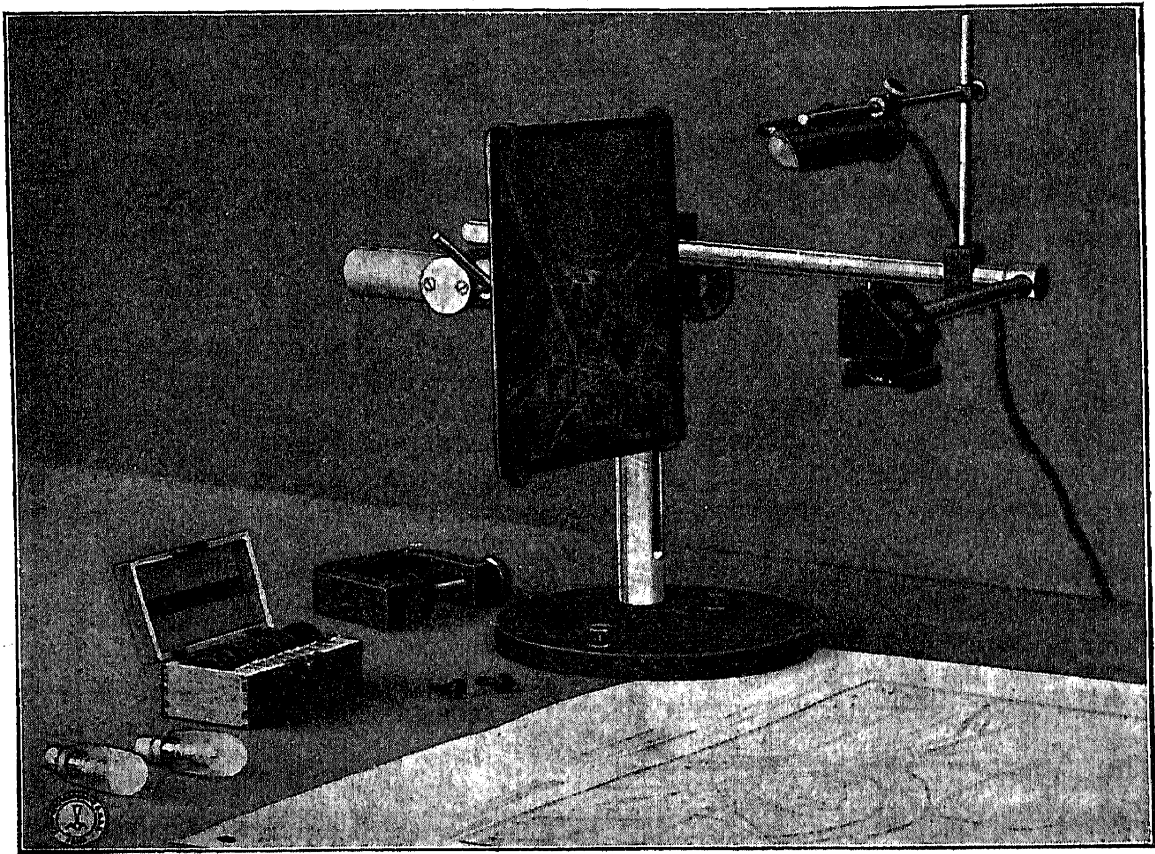



Abb. 228. *(Zeiß-Aerotopograph)*

Die im Fokalpunkt gemessenen Radialrichtungen sind bei ebenem Gelände richtig, bei Höhenunterschieden aber durch Fehler verfälscht, die etwa halb so groß sind wie jene, die im gleichen Fall für Radialstrahlen durch den Hauptpunkt eintreten.

Da der Hauptpunkt mit Hilfe der Bildkoordinatenachsen am einfachsten feststellbar ist, verwendet man ihn zumeist als Träger der sog. Hauptpunkttriangulation. Sie liefert taugliche Er-

gebnisse nur dann, wenn die vorhandenen Höhenunterschiede höchstens bis zu 10% der Flughöhe ansteigen.

Bei größeren Höhenunterschieden ist die Nadirpunkttriangulation vorteilhafter. Da auch der gewissenhaftesten Bestimmung der Nadirpunktlage[77a], aus den Ausschlägen der mitabgebildeten Libellenblase, Fehlerreste in Nadirdistanz anhaften, sollen die vorhandenen relativen Höhenunterschiede 20% der Flughöhe nicht überschreiten.

Die Fokalpunkttriangulation wird, wie bemerkt, in flachem Gelände auch von etwa vorhandenen Bildneigungen nicht verfälscht und steht hinsichtlich des Einflusses von Höhenunterschieden zwischen der Hauptpunkt- und Nadirpunkttriangulation.

Für genauere Zwecke benützt man den Radialtriangulator[78] (Abb. 229) zur Messung der Radialrichtungen, erreicht bei binokularer Betrachtung des Raummodells eine Genauigkeit von 1′—2′ und führt die weiteren Entwicklungen rechnerisch durch.

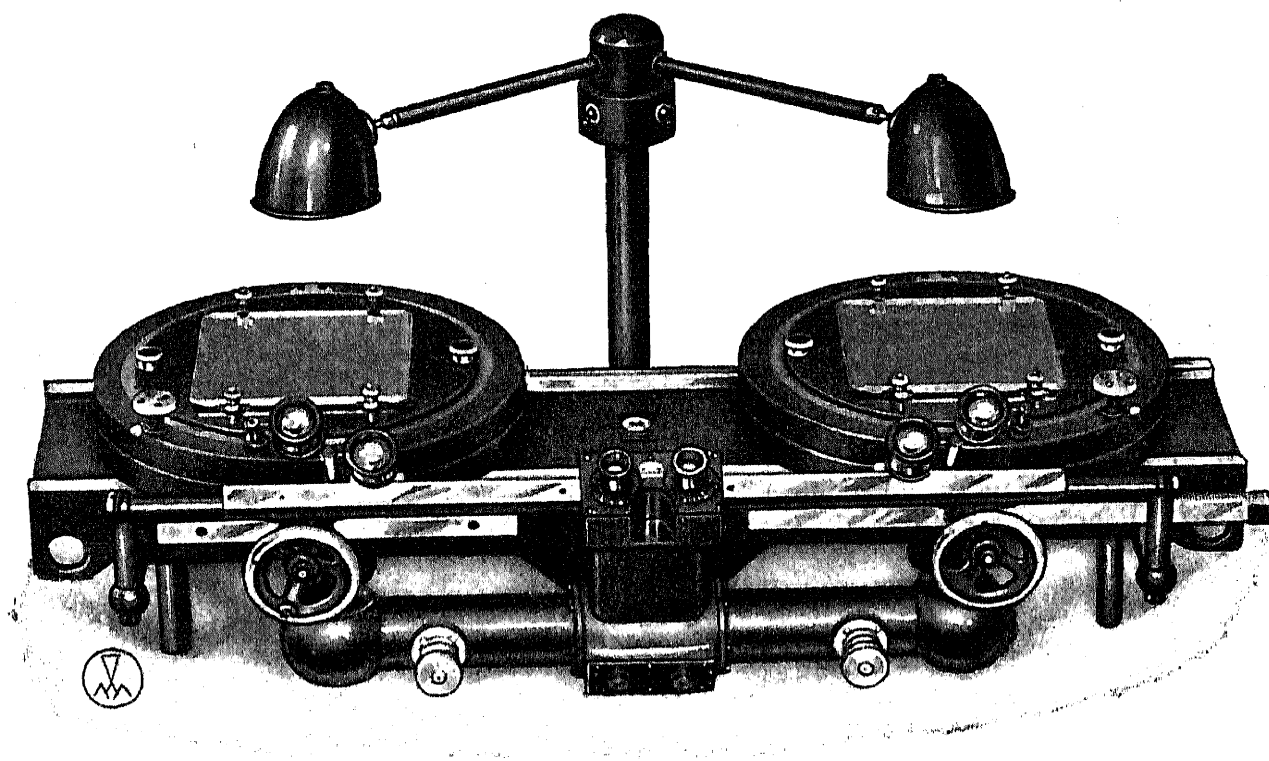



Abb. 229. *(Zeiß-Aerotopograph.)*

Bei genäherter Bearbeitung auf zeichnerischem Weg kann man die Bezugspunkte und die Radialrichtungen auf Folien stechen oder pausen und diese dann so verwenden, wie es dem nachfolgend angedeuteten Gang einer Hauptpunkttriangulation entspricht.

Bei Bildpaaren mit etwa 67%iger Überlappung werden mindestens zwei Paßpunkte *a, c* benötigt, die in beiden Bildern vorkommen (Abb. 230), um die Triangulation fortführen zu können. Man überträgt den Hauptpunkt jedes Bildes in das andere und mißt oder paust in ihnen die Richtungssätze nach den Paß- bzw. Neupunkten. Relativ zu den kartierten Paßpunkten *A, C* sind nun die Pausen der Richtungssätze, die sich hinsichtlich der Richtung H_1H_2 decken, unter Änderung des Abstandes H_1H_2 so lang zu verschieben, bis der Strahlenschnitt in den Paßpunkten erreicht ist und damit die Hauptpunkte H_1, H_2 durch die Lösung der Aufgabe von *Hansen* [II 6] festgelegt sind. Weitere im Schnitt von zugeordneten Richtungen entstehende Neupunkte sind auf die Karte durchzustechen und können nun u. U. auch als Paßpunkte für die Anfügung des nächsten Bildes Verwendung finden.

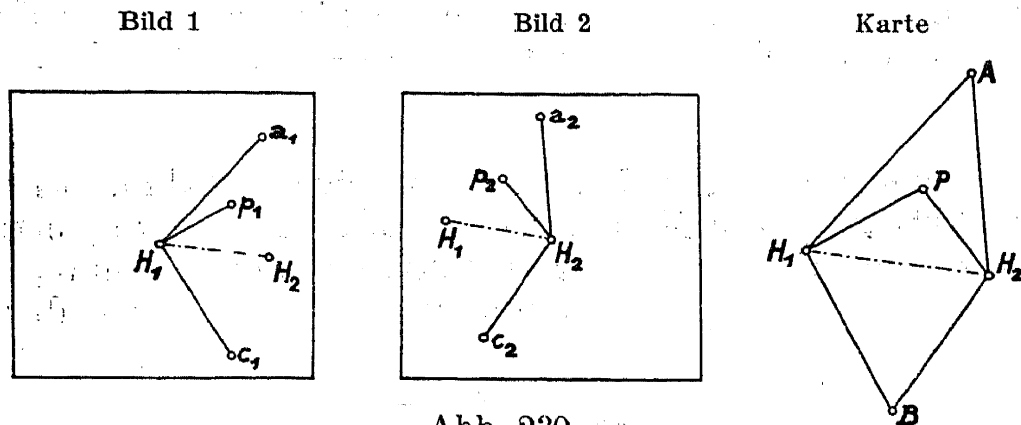



Abb. 230.

(Der Buchstabe *B* in der Kartendarstellung ist durch *C* zu ersetzen.)

In Bildpaaren mit weniger als 50%iger Überdeckung (Abb. 231) sind die Hauptpunkte gegenseitig nicht mehr übertragbar. Zur Lösung der Aufgabe sind in diesem Fall mindestens 3 Paßpunkte pro Bild erforderlich, von denen 2 auf beiden Bildern vorkommen müssen. Jede Hauptpunktlage H_1, H_2 auf der Karte entsteht durch Rückwärtseinschnitt, nämlich über die Einpassung des zugehörigen Richtungssatzes auf die kartierten Paßpunkte. Nach erfolgter Festlegung der Richtungssätze ergeben sich die Neupunkte im Schnitt zugeordneter Radialstrahlen.

Der Gang einer rechnerischen Bearbeitung mit im Radialtriangulator gemessenen Richtungssätzen folgt der hier angedeuteten graphischen Lösung.

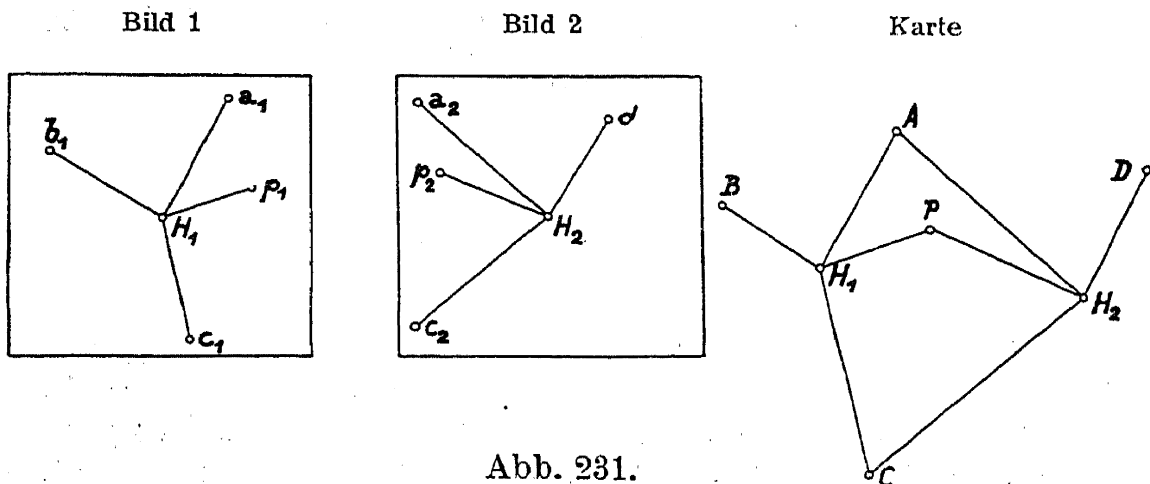



Abb. 231.

Im vergangenen Krieg wurden sowohl die rechnerischen wie auch zeichnerischen Verfahren der Radialtriangulation in großem Ausmaß angewendet, um für sog. festpunktlose Räume die Unterlagen zur Herstellung von kleinmaßstäblichen Karten allein aus den Ergebnissen von Bildflügen zu beschaffen.

Durch eine der Polygonverknotung [II 8] ähnliche Ausgleichung von mehreren freien Rautenketten, die einem gemeinsamen Endpunkt zustreben, wird die Genauigkeit der Einzelkette beträchtlich erhöht und ein Rahmen für die Einfügung von Zwischenketten erzeugt, bis zur allmählichen Ausfüllung aller freien Flächen, oder man schließt von vornherein seitlich entsprechend überdeckte Ketten in Form einer Flächentriangulation zusammen.

Die nachfolgenden Formeln sollen die erreichbare Genauigkeit[79] kennzeichnen, u. zw. für eine freie Kette von der Länge s, bei quadratischer Rautenform und dem Richtungsfehler m.

Mittlerer Längsfehler des n-ten Punktes: $m_1 = ms\, 1{,}8257 \sqrt{n}$,
„ Querfehler „ „ „ $m_2 = ms\, 0{,}8164 \sqrt{n}$,
„ Punktfehler „ „ „ $M = 2\, ms \sqrt{n}$.

Nach der Ausgleichung einer Verknotung verbleiben im mittleren Punkt einer beidseitig eingehängten Rautenkette die folgenden Fehler.

Mittlerer Längsfehler im mittleren Punkt: $\overline{m_1} = ms\, 0{,}3227 \sqrt{n+3}$,
„ Querfehler „ „ „ $\overline{m_2} = ms\, 0{,}1443 \sqrt{n+3}$,
„ Punktfehler „ „ „ $\overline{M} = ms\, 0{,}3536 \sqrt{n+3}$.

Ermittelt man zu einer bestimmten Genauigkeitsforderung aus diesen Angaben die Anzahl n der Rautenglieder, so wird, durch praktische Ergebnisse bestätigt, im allgemeinen die beidseitig angeschlossene Rautenkette bis zu dreimal länger sein dürfen als die frei endigende Rautenkette.

Eine ähnliche, jedoch nicht gleichwertige Versteifung ergibt sich bei der bereits erwähnten Flächentriangulation durch Zusammenschluß parallel verlaufender Flugstreifen mit hinreichender seitlicher Überdeckung. Die Anwendung der theoretisch vorbereiteten Ausgleichungsmethoden[80], unterstützt von den bis 1939 bei Kolonialvermessungen gemachten Erfahrungen, auf die rechnerische Flächentriangulation von festpunktlosen Räumen führte im Wesen zu folgender Erkenntnis.

Jene Verbesserung der Punktlage freier Rautenketten, die man durch deren Verknotung, also durch polygonzugartige Rechnung, erzielt, entsteht auch über die Ausgleichung gemeinsamer Punkte in den Rautenketten benachbarter Flugstreifen. Suchen wir zu einer geforderten Lagegenauigkeit M die zulässige Länge s eines beidseitig eingehängten Rautenzuges und fragen nach jener Anzahl r von einzelnen freien Ketten, nach deren rechnerischer Verknüpfung zu einer Flächentriangulation höchstens wieder Punktfehler von der Größe M zu erwarten sind, so ergibt sich für alle Bildmaßstabsverhältnisse praktisch die gleiche Zahl $r \doteq 5$.

Die zeichnerische Durchführung der kurz geschilderten Verfahren eröffnet naturgemäß zusätzliche Fehlerquellen und setzt die bei rechnerischer Bearbeitung zulässige Kettenlänge s auf ungefähr $\frac{2}{3}\, s$ herab.

Wegen des beschränkten Rahmens dieses Buches können wir die überaus interessante Radialschlitz- oder Bildschlitztriangulation[81] nur kurz erwähnen.

Bei ihr werden die gewählten Punkte entweder auf einem Positivabzug oder auf einer entsprechend steifen Schablone mit einem präzis arbeitenden Gerät ausgestanzt.

Diese Stanzen sind für die Radialpunkte kreisförmig, während den Radialrichtungen Schlitze von der Breite des Durchmessers der Kreisstanze entsprechen.

Durch Einführung von Knöpfen mit einer zylindrischen, zentral durchbohrten Achse in die Kreis- bzw. Schlitzstanzen, kann man die aufeinanderfolgenden Schablonen oder Bilder flächenförmig mechanisch miteinander verknüpfen. Ein leichtes Spiel von höchstens 0,1 mm der Knopfachsen in den Kreis- bzw. Schlitzstanzen gestattet auch noch, nach Einstechung der Knöpfe für eine hinreichend große Anzahl von Paßpunkten, die auf der Kartierungsgrundlage aufgetragen sind, eine geringfügige Beweglichkeit des Flächenverbandes. Das Ausmaß dieser Beweglichkeit entspricht etwa den von einer rechnerischen Ausgleichung erzeugten Änderungen der Punktlage und kann statisch gedeutet werden als die Folge von allen jenen Drehungen und Schiebungen, mit denen die einzelnen Bilder auf die Gesamtheit des ausgelegten Verbandes einwirken.

Die schließlich durch die Achse der Knöpfe auf die Kartierungsgrundlage (beiderseits mit Zeichenpapier beklebte Aluminiumfolien, sog. Metrigrafplatten) gestochenen Punkte der Flächentriangulation dienen als Paßpunkte für die weiteren topographischen Arbeiten.

In der britisch-amerikanischen Topographie hatte dieses ausgesprochen mechanisch-zeichnerische Verfahren seit etwa 1933, wohl vor allem auf kolonialem Gebiet, aber nicht nur auf diesem, Anwendung gefunden.

Auf deutscher Seite war, zufolge der hochentwickelten, äußerst leistungsfähigen und genauen automatischen Luftbildauswertungsgeräte [38,65], für die Bildschlitztriangulation kaum mehr als ein wissenschaftliches Interesse vorhanden, das nach Durchführung von großzügigen 1939 begonnenen Versuchen mit der Veröffentlichung der gewonnenen Erfahrungen und Ergebnisse 1944 seinen Niederschlag fand.

Die Radialschlitztriangulation ist auch im vergangenen Krieg sehr häufig und nicht nur versuchsweise angewendet worden. Da die hier zu erfüllenden Genauigkeitsforderungen mit denen von kolonialen topographischen Aufgaben durchaus übereinstimmten, hat sich das Verfahren bewährt und Anregung zu Verbesserungen geboten, die zufolge des Verlustes der notwendigen Geräte nun nicht mehr verfolgt werden können.

Es hat sich gezeigt, daß mit etwa 15—18 Schlitzstanzen pro Schablone die günstigsten Verknüpfungsbedingungen eintreten.

Bei allen bisher veröffentlichten oder sonstwie bekanntgewordenen Anwendungen der Radialschlitztriangulation, für die verschiedensten Gelände-, Bild- und Maßstabsverhältnisse, ergab sich eine mittlere Lagegenauigkeit der durchstochenen Punkte von etwa 1 Millimeter auf der Karte.

38,54 Das Stereopantometer

Die früher erwähnte behelfsweise Benutzung der stereoskopischen Betrachtung zur Identifizierung von gemeinsamen Punkten in Bildern, die man bei der Radialtriangulation dann doch nur als

Einzelbilder weiter verwendet, kann als Zwischenstufe zu jenen Geräten aufgefaßt werden, die grundsätzlich bei binokularer Beobachtung das einem Bildpaar zugeordnete Raummodell auswerten.

Als eines der einfachsten dieser Instrumente ist das von *Zeiß-Aerotopograph* konstruierte Stereopantometer[82] anzusehen, das durch Verbindung des Klappspiegelstereoskops [36] mit einem Stereomikrometer samt Zeicheneinrichtung mindestens die genäherte Lösung aller einfachen Auswertungsaufgaben erlaubt, die sich bei senkrecht bzw. nahezu senkrecht aufgenommenen Bildpaaren darbieten.

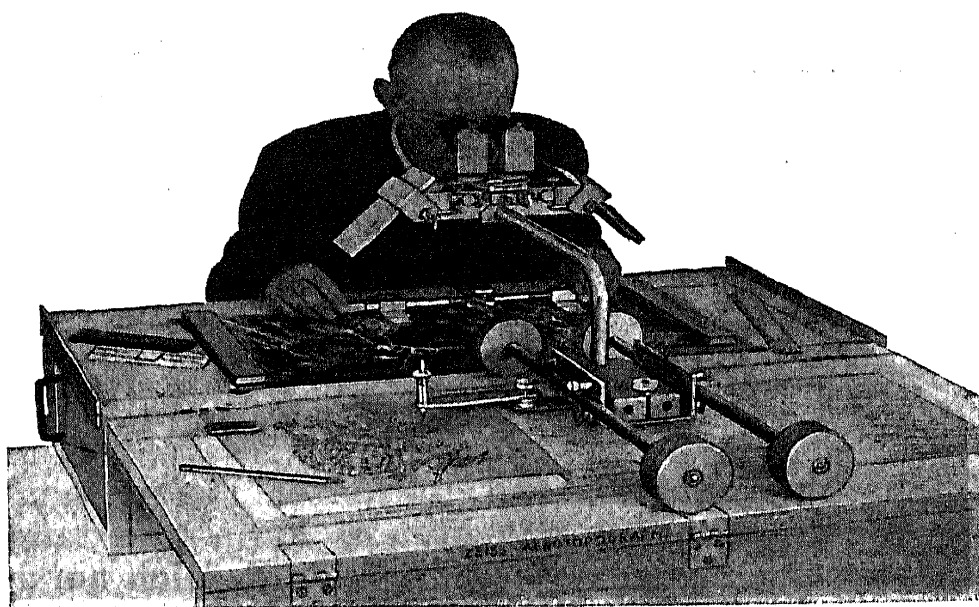



Abb. 232. *(Zeiß-Aerotopograph.)*

Besonders geeignet ist das Gerät (Abb. 232) für die rasche Herstellung von Karten kleinen Maßstabes sowie Ergänzungen von solchen, bei Einhaltung einer mäßigen, aber hinreichenden Genauigkeit.

Nimmt man an, daß das Bildpaar in der notwendigen Art [35], [36] für die stereoskopische Betrachtung vorbereitet ist, also insbesondere nur Horizontalparallaxen p aufweist, dann wird durch Führung der Raummarke auf einer Geländelinie der betreffende Liniengrundriß aufgezeichnet. Er ist mit jenen Fehlern behaftet, die dem linken Bild zugehören, denn auf diesem bewegt sich die als Nullpunkt der Parallaxenzählung dienende linke Einstellmarke.

Wenn wir uns die für den Normalfall der Erdphotogrammetrie mit waagrechten Kammerachsen geltende Abb. 199 lotrecht aufgerichtet denken (Abb. 233), so erkennen wir, daß den Entfernungen D bzw. Entfernungsunterschieden dD der Erdphotogrammetrie nun die lotrechten Abstände h_p' der Aufnahmezentren von den Geländepunkten P, also Höhen bzw. Höhenunterschiede, entsprechen.

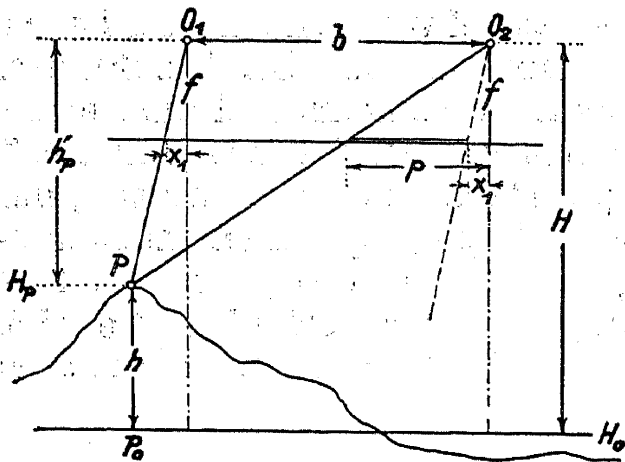



Abb. 233.

Ähnlich wie in [37,1] entwickelt wurde, ergeben sich auch hier die Beziehungen

$$h_P' = \frac{b}{p} f, \quad d\,h_P' = -\frac{m_P}{\beta_P} dp \quad . \quad (1)$$

wo $m_P = \frac{h_P'}{f}$ den Maßstabsfaktor darstellt und $\beta_P = \frac{b}{h_P'}$ jener Koeffizient ist, denn wir bereits in der terrestrischen Photogrammetrie als Basisverhältnis bezeichneten.

Es sind demnach in einem Bildpaar für alle Punkte P mit gleichen Werten h_p', wegen der Konstanz des Faktors $k_p = -\frac{m}{\beta}$, in der unmittelbaren Umgebung von P relative Höhenunterschiede berechenbar, u. zw. unter Anwendung der Formel

$$d\,h_P' = k_P\,dp \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

Bei Einschaltung entsprechend gewählter Tiefenzonen[83] und Bestimmung der für sie geltenden Faktoren k_P kann man durch Messung von Parallaxenunterschieden dp jeweils einen Bereich um die Niveaufläche H_P des Bezugspunktes höhenunterschiedsmäßig bearbeiten, also auch den Grundriß von Linien gleicher Parallaxe zeichnen, u. zw. durch Führung der Raummarke auf dem Geländemodell, bei festgehaltener Parallaxe.

Da im allgemeinen keine genau senkrechten, sondern zumeist leicht geneigte und nicht entzerrte Bilder vorliegen, ist auch das zugeordnete optische Modell geneigt und verbogen.

Die auf ihm von der Raummarke durchfahrenen Linien gleicher Parallaxe sind daher keine Linien gleicher Höhe und ihre aufgezeichneten Grundrisse demnach keine Schichtenlinien, sondern Näherungen, die wir als Formlinien bezeichnen.

Wenn für eine ebene Fläche mehrere Höhenpaßpunkte vorhanden sind, dann ist es möglich, die unrichtige Lage des optischen Modells gebietsweise auszuschalten durch Vergleich der bekannten, auf irgendeinen Punkt bezogenen Höhenunterschiede h mit jenen Werten, die sich aus Parallaxenmessungen ergeben. Die gewonnenen Höhenwidersprüche der Paßpunkte deutet man in Parallaxenverbesserungen v um und konstruiert über dem Gebiet Linien gleich großer Verbesserungen.

Für jeden neuen Punkt ist die ihm entsprechende Parallaxenverbesserung im Linienverlauf zu interpolieren und der beobachteten Parallaxe zuzufügen.

Die mit jeder Änderung von h_P' verbundene Änderung von m und β macht es notwendig, die Variation der Parallaxe für aufeinanderfolgende gleich große Höhenzonen $h = H_P - H_0$ (Abb. 233) zu berücksichtigen.

Wendet man die vorigen Formeln (1) auf den Punkt P_0 in der Bezugshöhe H_0 und den Punkt P in der wenig verschiedenen Höhe H_P an, so entsteht

$$h = H_P - H_0 = H - h_P' = b\,f\left(\frac{1}{p_0} - \frac{1}{p}\right) = b\,f\left(\frac{1}{p_0} - \frac{1}{p_0 + dp}\right)$$

$$h = bf\,\frac{dp}{p_0(p_0 + dp)} \doteq \frac{bf}{p_0^2}\left(1 - \frac{dp}{p_0}\right)dp$$

und nach Einführung von $p_0 = \frac{bf}{H}$ bzw. $m_0 = \frac{H}{f}$, so daß $p_0 = \frac{b}{m_0}$, ergibt sich schließlich

$$h = \frac{H\,m_0}{b}\left(1 - \frac{m_0}{b}\,dp\right)dp = k_0\left(1 - \frac{k_0}{H}\,dp\right)dp \quad . \; . \; . \; . \; (3)$$

Für nur kleine Höhenstufen h oder recht große Flughöhen über Grund H darf man die Abweichung des Klammerausdruckes vom Wert 1 außer acht lassen, und wir erhalten $h \doteq k_0\,dp$ entsprechend dem Absolutwert unserer eingangs angeschriebenen Formel (2), nämlich $d\,h_P' = k_P\,dp$.

Zur praktischen Bestimmung des Faktors $k_i = h_i'\,\frac{m_i}{b}$ ist vor allem ein möglichst genauer Wert h_i' der Flughöhe über Grund erforderlich, für den man auch, bei überhaupt nur kleinen Höhenunterschieden, einen zum Gesamtgelände passenden Durchschnittswert einführen kann. Die bekannte Brennweite f gibt sodann $m_i = \frac{h_i'}{f}$, und die Länge der Basis b ist mit dem Abstand der in beiden Bildern eingetragenen Hauptpunkte bekannt.

Die angenommene Vereinfachung der Formel $h = k_0\,dp - \frac{k_0^2}{H}(dp)^2$ zu $h \doteq k_0\,dp$ erzeugt einen Höhenfehler $\triangle h = \frac{k_0^2}{H}(dp)^2 \doteq \frac{h^2}{H}$, den man mit den beiden Argumenten h, H meist graphisch ermittelt

und dem Näherungswert $k_0\,dp$ als Höhenverbesserung zufügt, wodurch entsteht

$$h = k_0\,dp - \frac{h^2}{H} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Um jene Einstellung des Stereomikrometers zu erhalten, bei der die Raummarke einen bestimmten Höhenunterschied h gegen die Bezugshöhe H_0 einnimmt, muß in ähnlicher Weise die diesem Höhenunterschied h zugeordnete Parallaxenänderung ermittelt werden.

Aus Formel (4) ergibt sich $dp \doteq \frac{h}{k_0}\left(1 + \frac{k_0}{H}\,dp\right)$, und mit der ersten Näherung $dp \doteq \frac{h}{k_0}$ finden wir

$$dp = \frac{h}{k_0}\left(1 + \frac{h}{H}\right) = \frac{1}{k_0}\left(h + \frac{h^2}{H}\right) = \frac{h + \triangle h}{k_0}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

wo $\triangle h = \frac{h^2}{H}$ die oben erwähnte, graphisch leicht bestimmbare Höhenverbesserung darstellt.

Die Zeichnung von Formlinien mit runden Seehöhen verläuft nach folgendem Vorgang.

1. Wegen der möglicherweise vorhandenen Modellverbiegung vergleicht man gebietsweise die Höhenunterschiede von Paßpunkten mit jenen, die sich aus der Parallaxenmessung ergeben, ermittelt die die Höhenwidersprüche aufhebenden Parallaxenverbesserungen und konstruiert über dem Gebiet den Verlauf der Linien gleicher Parallaxenkorrektionen[84].
2. Von der Höhe H_0 bzw. H_0' eines Paßpunktes ausgehend, werden die Höhenunterschiede h zu jenen Schichtenlinien aufgestellt, die mit größtmöglicher Annäherung durch Formlinien darzustellen sind. Für alle aufeinanderfolgenden Höhenstufen bestimmt man die zugehörigen Werte k und die dem Übergang von einer zur anderen Stufengrenze entsprechende Parallaxenänderung dp.
3. Von der Ablesung A_0 des Stereomikrometers ausgehend, die bei Einstellung der Raummarke auf den Bezugspaßpunkt vorhanden ist, werden durch Zufügung der berechneten Parallaxenunterschiede die Einstellungen des Stereomikrometers ermittelt, bei denen die Raummarke die geforderte Höhenlage einnimmt.
4. Ist ein solcher Parallaxenwert eingestellt, dann wird bei Führung der Raummarke am Geländemodell, der Zeichenstift den Grundriß der gewünschten Formlinie angeben.

   Die Rollenführung des Stereopantometers von *Zeiß-Aerotopograph* gewährleistet die theoretisch geforderte dauernde Erhaltung der Parallelität zwischen der Orientierungs- und Betrachtungsbasis.
5. Im Falle einer nach Punkt 1 vorhandenen Parallaxenkorrektion wegen Modellverbiegung und -neigung müßte diese Korrektion fortlaufend, minde-

stens aber intervallweise der Grundeinstellung zugefügt werden. In solchen Fällen empfiehlt sich stückweise oder auch punktweise Auswertung mit entsprechend engen Intervallen.

Zum Abschluß der nur kurzen Andeutungen über dieses sehr interessante Gerät, das nicht nur eine wertvolle Eindringung in die Grundaufgaben und -begriffe der stereoskopischen Auswertung sowie die Gewinnung erster Erfahrungen ermöglicht, sondern im gegebenen Fall und bei überlegter Anwendung praktisch sehr taugliche Ergebnisse liefert, soll noch erwähnt werden, daß zahlreiche vorgesehene Zusatzeinrichtungen auch die Lösung von Sonderaufgaben[84a] erlauben, wie etwa die Übertragung und Bezeichnung von Bildpunkten für die Vorbereitung von Radialtriangulationen, Bilderkundung durch Blinken, Auswertung von Horizontbildern usw.

Eine im österreichischen Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen von *Kern*[85] konstruierte Reduktionseinrichtung ermöglicht die selbsttätige Ausschaltung der Grundrißverzerrungen, die durch Höhenunterschiede im Gelände entstehen.

38,6 Mechanisch-automatische Zweibildauswertung

Wir wollen jedes Verfahren zur Auswertung von Bildpaaren als ein mechanisches bezeichnen, bei dem die Bewegung einer vom Beobachter gelenkten Raummarke allein durch optisch-mechanische Mittel automatisch in die Grundriß- und Höhendarstellung des beobachteten Raummodells umgewandelt wird.

Der leitende Gedanke jedes solchen Verfahrens, der erstmalig bereits 1898 von dem österreichischen Hauptmann *Scheimpflug* angegeben wurde, liegt in der Umkehrung des Aufnahmevor-

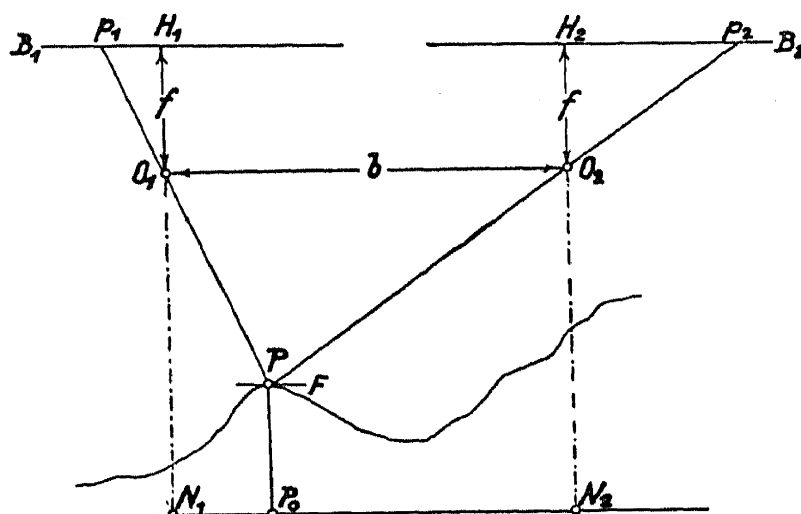



Abb. 234.

g a n g e s, den wir schon beim Einzelbild zu dessen Entzerrung benützten und mit dem man aus Bildpaaren, durch die sog. D o p p e l - p r o j e k t i o n[31], ein objektiv oder subjektiv [36] beobachtbares optisches Modell des aufgenommenen Gegenstandes wiederherstellt[16] (Abb. 234).

Würde man in zwei Kammern, die mit der ursprünglichen Aufnahmekammer sowie deren Ort und Orientierung während der Aufnahme völlig übereinstimmen müßten, die beiden Bilder B_1, B_2 einlegen und entsprechend durchleuchten, dann würden sich sämtliche Strahlen der beiden nun von O_1 bzw. O_2 ausgehenden Bündel genau in den Geländepunkten schneiden, deren Bild sie bei der Aufnahme erzeugten.

Denkt man sich die Ausmaße dieses D o p p e l p r o j e k t o r s entsprechend verringert, so erkennen wir die Möglichkeit, das Gelände in einem entsprechend v e r k l e i n e r t e n o p t i s c h e n M o - d e l l genau wiederherzustellen und dann dieses stereoskopisch zu vermessen.

Diese grundlegenden Gedanken *Scheimpflugs* wurden zuerst von *Gasser* bei der Konstruktion seines I n a g - D o p p e l p r o j e k t o r s praktisch verwertet[86].

Im Wesen ist das Prinzip der Doppelprojektion bei allen modernen Instrumenten zur automatischen Zweibildauswertung wiederzufinden, deren Einteilung wir in [36,1] vorweggenommen haben.

In der Folge betrachten wir jene allgemeinen Grundsätze, mit denen die Aufgabe unter Einsatz sehr verschiedener Mittel und mit unterschiedlicher Genauigkeit gelöst wird.

38,61 Allgemeine Hinweise zur Doppelprojektion

Die Erzeugung des optischen Modells führt durch rein mechanisch-optische Mittel die Lösung der sog. r ä u m l i c h e n D o p p e l - p u n k t e i n s c h a l t u n g[87] herbei, d. h. der Lagebestimmung beider Projektionszentren O_1, O_2, die auch als H a u p t a u f g a b e d e r L u f t p h o t o g r a m m e t r i e bezeichnet wird.

Da die paarweise zugeordneten Strahlen in den einzelnen Punkten des Raummodells sich nur dann schneiden können, wenn die Projektoren gegenseitig so orientiert sind wie die Kammern während der Aufnahme, ist die Möglichkeit der scharfen Beurteilung des Schnittes der zugeordneten Strahlen eine grundlegende Voraussetzung für die einwandfreie Herstellung der von vornherein überhaupt nicht oder nur genähert bekannten Elemente der äußeren bzw. gegenseitigen Orientierung.

Ist etwa der Strahlenschnitt im Punkt P des Modells zu prüfen (Abb. 234), dann kann man eine Auffangfläche F in eine solche Höhe bringen, daß derselbe Teil des von beiden Bildern gedeckten Geländes

ungefähr auf die gleiche Stelle fällt. Im allgemeinen zeigt es sich nun, daß bei Höhenänderung dieses Auffangtischchens die Teilbilder von P sowohl in der Richtung der Basis b, d. h. in der Richtung der Koordinatenachse x, als auch normal zu ihr, d. h. in der Achsrichtung y, auseinanderlaufen.

Gewiß aber gibt es nur eine einzige Höhenstellung des Auffangschirmes, bei der die beiden Bildpunkte den kleinstmöglichen Abstand haben. In diesem Fall liegt die Verbindungslinie der beiden getrennten Bildpunkte normal zur x-Richtung und stellt daher eine Parallaxe p_y in der Richtung der y-Achse dar.

Jede Änderung dieser Höheneinstellung des Auffangtischchens bewirkt ein Auseinanderlaufen der Bildpunkte auch in der Richtung der x-Achse, also die Entstehung einer zusätzlichen Parallaxe p_x. Aus der beschriebenen Erscheinung geht hervor, daß die beiden Strahlen sich kreuzen, denn das Kennzeichen des Schnittes wäre die Verschwindung beider Parallaxen p_x, p_y in einer bestimmten Höhenlage des Auffangschirmes (Abb. 235).

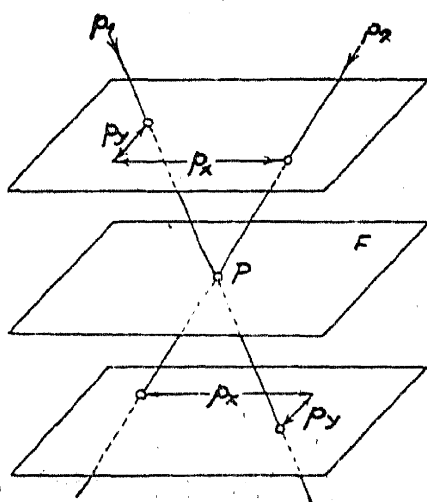



Abb. 235.

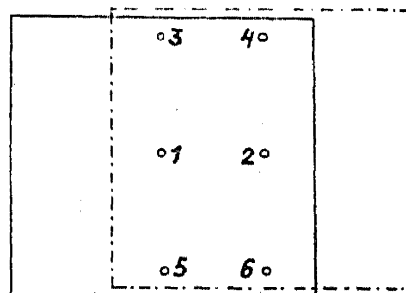



Abb. 236.

Da nach [35,1] zur eindeutigen Erreichung der gegenseitigen Orientierung eines Bildpaares der Schnitt von fünf Strahlenpaaren notwendig ist[88], entfernt man die y-Parallaxen für insgesamt 6 Punkte. Zufolge der hier nicht weiter erörterten Beziehungen zwischen Parallaxenänderung und Projektorbewegung sollen diese Punkte nahe der aus Abb. 236 ersichtlichen Verteilung am Rande des gemeinsam überdeckten Bildfeldes liegen.

Ist die Beseitigung der y-Parallaxen an diesen 6 Stellen im Wege eines theoretisch begründeten und praktisch bewährten Verfahrens und durch die einer festen Regel folgende Bewegung der Projektoren gelungen, dann ist das Bildpaar gegenseitig orientiert.

Das jetzt vorhandene optische Modell ist überhaupt frei von y-Parallaxen, befindet sich aber in einer einstweilen noch beliebigen Lage gegenüber dem Koordinatensystem der Kartierungsunterlage.

Werden schließlich die relativ orientierten Bündel durch eine gemeinsame Drehung im Raum in die absolut orientierte Stellung [35,1] gebracht, dann sind die nun verbleibenden x-Parallaxen Gegenstand der stereoskopischen Vermessung.

Entfernt man nämlich die *x-Parallaxe* in einem Punkt durch Höhenbewegung des Auffangtischchens, so befindet sich die Schirmebene in der Höhe des Punktes. Unter Benützung einer Höhenstellteilung kann die Einstellmarke des Tischchens auf eine bestimmte Seehöhe gebracht werden und durch Entlangführen der Marke am Raummodell zeichnet ein lotrecht unter ihr befindlicher Stift den Grundriß der betreffenden Schichtenlinie auf der Kartierungsunterlage.

Der hier geschilderte leicht faßliche und anschauliche Grundgedanke und elementare Vorgang einer Zweibildauswertung durch direkte Auffangung und Abtastung des optischen Modells wird bei dem später besprochenen Aeroprojektor Multiplex [38,65] tatsächlich praktisch angewendet.

Da man bei diesem Gerät das Verschwinden der Parallaxen sowohl während der Orientierung der Projektoren für die Herstellung des optischen Modells wie auch später bei seiner Vermessung freiäugig beurteilen muß, so ist die Auswertungsgenauigkeit durch die Verschwindungsgrenze beschränkt.

Zur Steigerung der Genauigkeit entwerfen alle anderen eigentlichen Auswertemaschinen das optische Modell zu subjektiver stereoskopischer Betrachtung unter entsprechender Vergrößerung bis zur höchstmöglichen Ausnutzung des dem Aufnahmematerial eigenen Auflösungsvermögens.

Für die zur Erzeugung des optischen Modells notwendige Orientierung der beiden Strahlenbündel gelten bei allen Instrumenten die gleichen Bedingungen und Voraussetzungen. Die Reihenfolge aber und die Art, wie diese Bedingungen durch verschiedene optisch-mechanische Mittel erfüllt werden, sind spezielle Kennzeichen des betreffenden Instrumentes.

38,62 Die mechanische Bildorientierung

Zur Herstellung der gegenseitigen Orientierung eines Bildpaares, wie es etwa mit den beiden ersten Bildern I, II eines auszuwertenden Reihenbildfluges gegeben ist, sind die y-Parallaxen in den 6 erwähnten und nach Abb. 236 verteilten Punkten zu be-

seitigen. Hiezu können bei jedem Projektor die folgenden Bewegungen benutzt werden.

b_x als Verschiebung in der horizontal angenommenen Flugrichtung = x-Achse, d. h. Basisänderung,

b_y als waagrechte Verschiebung normal zur Flugrichtung in der y-Achse, d. h. Abtriftänderung,

b_z als lotrechte Verschiebung in der z-Achse, d. h. Flughöhenänderung,

ω Drehung um die x-Achse, Neigung = Querneigung zur Flugrichtung,

φ Drehung um die y-Achse, Verschwenkung = Längsneigung = Neigung der Aufnahmeachse längs der Flugrichtung,

$\varkappa$ Drehung um die z-Achse, Kantung.

Da die bei diesen Einzelbewegungen eintretenden Verlagerungen der Punkte des Bildfeldes für das Verständnis des Orientierungsvorganges wichtig sind, kennzeichnen wir sie schlagwortartig an Hand der Abb. 237.

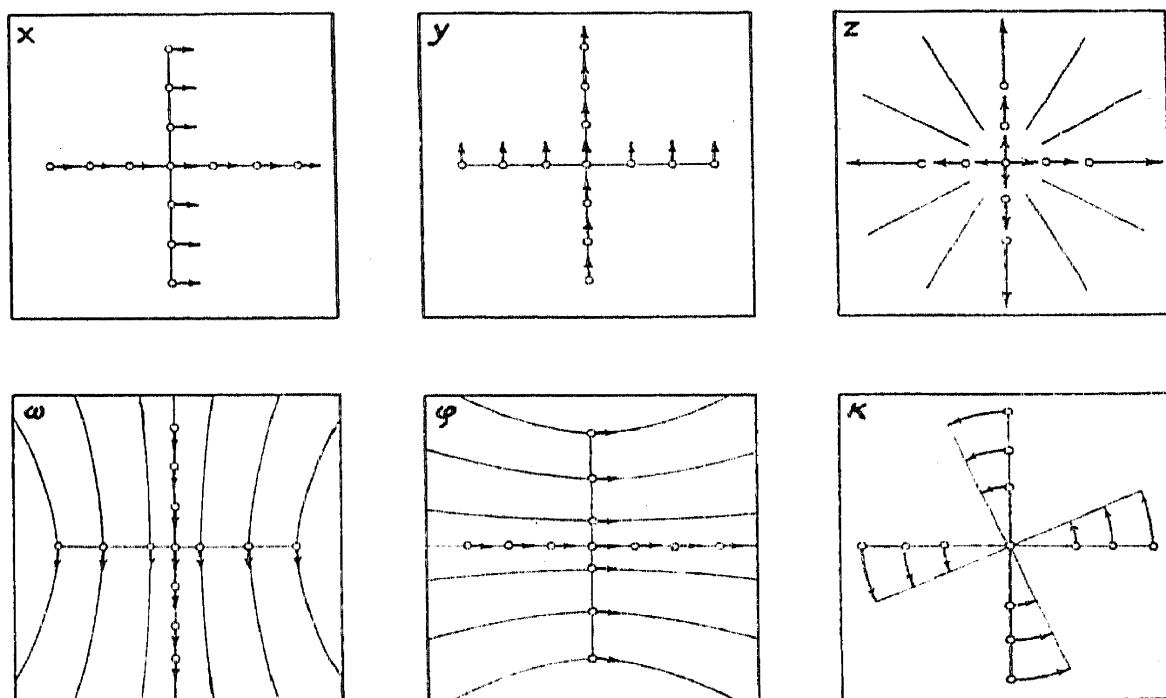



Abb. 237.

b_x bzw. b_y: Gleich große x- bzw. y-Verschiebung aller Bildpunkte.

b_z: Alle Bildpunkte wandern radial zum Hauptpunkt bzw. von ihm weg. Eintritt von Verkleinerung bzw. Vergrößerung.

ω: Bildverzerrung durch Wanderung aller Punkte (außerhalb der y-Achse auf Hyperbeln, in ihr gradlinig). Das Verschiebungsmaß ist bei den Punkten, die von der x-Achse ablaufen, größer als bei den zulaufenden Punkten.

φ: Sinngemäß wie für ω (nämlich Hyperbeln konvex zur x-Achse), Verschiebungsmaß bezogen auf y-Achse.

$\varkappa$: Punktdrehung auf Kreisen mit dem Bildhauptpunkt als Zentrum.

Untersucht man diese Bewegungen auf ihre Tauglichkeit zur Vernichtung von in den erwähnten 6 Punkten vorhandenen y-Parallaxen und benützt die vorhandenen Korrekturmittel immer an jenen Stellen, wo sie hinsichtlich p_y höchst wirksam sind, so ergibt sich eine schematische Reihenfolge von 5 notwendigen Bewegungen, mit denen man die y-Parallaxen allmählich vollständig zum Verschwinden bringt und damit die relative Orientierung erreicht.

Weil wir uns im Rahmen dieses Buches auf das Grundsätzliche zu beschränken haben, wird hinsichtlich weiterer Einzelheiten auf ausführliche Darstellungen verwiesen[89].

Zur Kennzeichnung eines wesentlichen und wichtigen Unterschiedes wollen wir indessen die beiden folgenden Verfahren zur gegenseitigen Orientierung der Bilder *I*, *II* in den Projektoren *I*, *II* miteinander vergleichen, die auf völlig verschiedenem Weg zum Ziele führen.

A. *I* Kantung, *II* Kantung, *I* Verschwenkung, *II* Verschwenkung, *I* oder *II* Kippung.

B. Nur Projektor *II*: Verschiebung b_y, Kantung, Verschiebung b_z, Verschwenkung, Kippung.

Der Fall A. dient vor allem zur relativen Orientierung eines einzelnen, sog. unabhängigen Bildpaares und benützt hiezu nur die möglichen Drehbewegungen beider Projektoren.

Das Verfahren B. verwendet man zur Anfügung eines Bildes an ein bereits orientiertes Bildpaar oder überhaupt an ein vorausgehendes orientiertes Bild, wobei lediglich der Projektor des neuen Bildes die entsprechenden Verschiebungen und Drehungen erfährt, alle vorausgehenden Projektoren aber unverändert bleiben.

Im Falle A. sprechen wir von der Orientierung eines unabhängigen Bildpaares[90], im Fall B. vom sog. Folgebildanschluß[91].

Für beide Fälle sind schematische Arbeitsregeln entwickelt worden, auf die wir nicht weiter eingehen, sondern nur erwähnen, daß die in den Punkten 1—4 (Abb. 236) beobachteten y-Parallaxen mit Hilfe jener Projektorenbewegung, die die Arbeitsregel angibt, voll zu tilgen sind. Die in den Punkten 5 oder 6 gemessene y-Parallaxe,

die in beiden Fällen durch Kippung eines Projektors zu löschen ist, erhält jedoch eine sog. Überkorrektur $n \cdot p_y$ zugeteilt, wo n den Überkorrekturfaktor[92] bedeutet. Der Grund hiefür liegt in dem Umstand, daß die durch Kippung eintretende Bildwanderung n-fach größer ist als die zugeordnete Änderung von p_y.

Nach der durchgeführten gegenseitigen Orientierung beginnt die absolute Orientierung mit der Herstellung des geforderten Maßstabsverhältnisses, durch Vergleich einer Strecke L' des derzeitigen Modells mit der Soll-Strecke L. Grundsätzlich ist dann der benötigte Maßstab erreicht, wenn die augenblickliche Modellbasis b' auf den verlangten Wert $b = b'$ gebracht wurde.

Die anschließende Horizontierung des nun maßstäblich richtigen Modells erfordert den Vergleich der von drei Paßpunkten bekannten Höhen mit jenen, die man in der augenblicklichen Lage des Modells mißt. Die auftretenden Widersprüche werden wieder nach schematischen Arbeitsregeln beseitigt, die, auf die einzelnen Auswertegeräte abgestimmt, größtmögliche Ökonomie jenes Vorgangs gewährleisten, der nun das optische Modell nicht nur in richtige Beziehung zum Kartenhorizont, sondern auch zum Kartengitter bringt [35,1].

38,63 Der Folgebildanschluß

Soll der von einem gegenseitig und vielleicht auch schon absolut orientierten Bildpaar *I, II* gedeckte Raum durch ein folgendes Bild *III* erweitert werden, so ist der Anschluß dieses Bildes, insbesondere bei Geräten mit mehreren Projektoren (z. B. Aeromultiplex [38,65]), sehr anschaulich durch unmittelbare Anfügung eines weiteren Projektors herstellbar.

Da die Lage der vorausgehenden Projektoren nicht geändert werden darf, kann das neue Bildpaar *II, III* seine gegenseitige Orientierung nur durch die folgenden fünf Bewegungen des hinzukommenden Projektors *III* erhalten, nämlich Verschiebung b_y, Verkantung, Verschiebung b_z, Verschwenkung, Kippung.

Bei den großen Präzisionswertemaschinen [38,66], mit zwei in festem Abstand stehenden Projektoren, bedingt der Anschluß des Folgebildes *III* an das vorausgehende Bild *II*, das unverändert erhalten bleiben muß, eine Vertauschung der Aufnahmeorte.

Die hiedurch eintretende Pseudoskopie [15,3] stellt man durch Seitenwechsel des binokularen Strahlenganges auf Orthoskopie um.

Der erwähnte Wechsel der Aufnahmeorte macht es auch notwendig, die zwischen ihnen liegende Aufnahmebasis b in zwei entgegengesetzten Richtungen einstellen zu können. Diese Aufgabe löst

bei allen Auswertemaschinen ein wichtiger Bestandteil, den wir als *Zeiß*-Parallelogramm bereits beim Stereoautographen *Orel-Zeiß* [37,5], dem erdphotogrammetrischen Vorläufer der modernen Zweibildauswertemaschinen, kennenlernten.

Als Einstellung „Basis innen" bezeichnet man die in Abb. 209 angegebene Lage der Punkte P bzw. P' mit dem Abstand $\overline{PP'} = c - b$. Die erwähnte Vertauschung der Kammern verlegt mit der Forderung $\overline{PP'} = c + b$ den Punkt P außerhalb des Parallelogramms, und diese Stellung nennt man daher „Basis außen"[92].

Den Auswertegeräten angepaßte schematische Arbeitsregeln gehen vor allem darauf aus, schon möglichst frühzeitig auch die absolute Orientierung des Folgebildes anzunähern und durch geeignete Vorsichtsmaßnahmen bei der Parallaxentilgung jede für die Höhenübertragung ungünstige Fehleranhäufung herabzudrücken.

38,64 Aeropolygonierung und Aeronivellement[94]

Die zur Herstellung des Grundrisses einer Lufttriangulation notwendigen Maßnahmen haben wir in [38,53] bei den Verfahren der Radialtriangulation kennengelernt. Die dort entwickelten Grundsätze können wir, lediglich von der Ebene in den Raum übertragen, auch hier benützen.

Die Vorarbeiten sind gleichartig, nämlich die Auswahl, Identifizierung und Übertragung von entsprechenden Paßpunkten in den Bildern eines mit besonderer Genauigkeit geradlinig und horizontal gesteuerten Flugstreifens. Hieran schließt sich, in Erweiterung der ebenen Behandlung bei der Radialtriangulation, nunmehr die räumliche Orientierung der Bildreihen bzw. auch die weitere Verknüpfung von mehreren seitlich entsprechend überdeckten Streifen.

Im Verlaufe dieser Arbeit ergeben sich bei der Erreichung von koordinaten- und höhenmäßig bekannten Paßpunkten Widersprüche, die den Verlauf der Fehleranhäufung anzeigen und nach folgenden grundsätzlichen Regeln auszugleichen sind[95].

Lagewidersprüche, die je nach Auswerteinstrument und -verfahren zeichnerisch oder zahlenmäßig entstehen, sind vor allem die Folge einer systematischen Verzerrung des Modellstreifens in der x-Richtung, u. U. aber auch einer Krümmung des Streifens im Grundriß. Der erste Fehler ist durch eine Maßstabskorrektur behebbar. Stehen indessen zu ihrer Ermittlung nur zwei Paßpunkte am Anfang und am Ende des Streifens zur Verfügung, dann muß die Aeropolygonierung vorerst überhaupt in einem freien Maßstabsverhältnis ausgeführt werden.

Zur Erkennung einer Bildstreifenkrümmung im Grundriß ist mindestens ein Lagepaßpunkt in der halben Streifenlänge erforderlich. Die Aufteilung des Widerspruches vollzieht man linear unter der Annahme kreisförmiger Krümmung.

Insbesondere bei längeren Bildstreifen führt die Zusammenwirkung verschiedener Restfehler des Orientierungsvorganges, die wir einzeln nicht erörtern, zu einer Höhenverbiegung $\triangle h_1$ des optischen Modells, die mit dem Quadrat der Streifenlänge x anwächst nach $\triangle h_1 = k_1 x^2$. Es ist daher möglich, durch einen Höhenvergleichspunkt am Streifenende mit dem in ihm beobachteten $\triangle h_1$ und dem bekannten x, den zur Aufteilung von $\triangle h_1$ auf die Zwischenpunkte notwendigen Faktor k_1 zu bestimmen.

Mit zwei Höhenpaßpunkten, die am Ende des Streifens an seinem oberen bzw. unteren Rand liegen, kann ein seitlicher, d. h. in der y-Richtung vorhandener, Höhenfehler $\triangle h_2$ des Modells, eine sog. seitliche Verwindung, erkannt und beseitigt werden durch den Ansatz $\triangle h_2 = k_3 \, x \, y$. Ein Zwischenpunkt mit den Koordinaten ξ, η erhält daher im letzten Fall die Höhenverbesserung $v_h = -k_1 \xi^2 - k_3 \, \xi \, \eta$.

Sind mehrere Vergleichspunkte im Streifenverlauf verfügbar, so empfiehlt es sich, für Punkte mit nahezu gleichem Abstand y von der Streifenmitte, die in ihnen beobachteten Widersprüche hinsichtlich des Anwachsens nach dem Gesetz $\triangle h_1$ zu überprüfen bzw. parabolisch auszugleichen, hernach Linien gleicher Höhenverbesserungen zu entwerfen und zwischen ihnen punktweise zu interpolieren.

Das rasche Anwachsen der Höhenaufbiegung fordert es, daß ein Luftpolygon der hier geschilderten Art immer nach höchstens 15 Bildern an Paßpunkte angeschlossen wird, die man entweder durch Messungen auf der Erde bestimmt oder auch über ein Luftpolygon in größerer Flughöhe (Hochbefliegung) ableiten kann.

Wird durch Statoskopregistrierung und Horizontabbildung[96] [37,2] dafür Sorge getragen, daß die Veränderung von einigen besonders wichtigen Elementen der Orientierung, wie z. B. von Flughöhe und Längs- bzw. Querneigung, dauernd bekannt bleibt und damit eine bedeutende Verschärfung der Orientierung des Bildstreifens ermöglicht, so sprechen wir von Aeronivellement.

Die aus einer Statoskopregistrierung entnehmbaren Flughöhenunterschiede dienen von vornherein zur b_z-Einstellung des Folgebildes. Dies, im Verein mit der aus Horizontbildern bestimmbaren Längsneigungsdifferenz $\triangle \varphi_1$ behindert einerseits die volle Entwicklung der früher erwähnten Höhenaufbiegung $\triangle h_1 = k_1 x^2$ und schaltet überdies jenen systematischen Fehler aus, der bei der gewöhnlichen Aeropolygonierung wegen Nichtbeachtung der Erdkrümmung[97] entsteht.

Aus Aufnahmen des in der Flugrichtung vor oder hinter dem Flugzeug liegenden Horizontes ist der Querneigungsunterschied $\triangle\omega$ der Bilder relativ genau bestimmbar. Berücksichtigt man ihn bereits bei der Orientierung des Streifens, so wird hiedurch das Ausmaß der früher erwähnten Höhenverwindung des optischen Modells normal zur Streifenachse beträchtlich beschränkt.

Die fehlertheoretische Untersuchung eines Aeronivellements in der Flughöhe H ergibt die folgenden Zusammenhänge zwischen dem Höhenfehler $\triangle h$, den Lagefehlern $\triangle x$, $\triangle y$ und dem Maßstabsfehler $\triangle m$ in einem Punkt mit dem Abstand $x = L$ vom Streifenanfang[98]:

$$\triangle h = c H x, \quad \triangle L = \triangle x = \frac{c}{2} x^2, \quad \triangle y = c x y, \quad \triangle m = c x.$$

Der Koeffizient c wird für alle lage- und höhenmäßig gegebenen Paßpunkte bestimmt und im allgemeinen aus der zweiten Beziehung am genauesten erhalten. Man bildet den Mittelwert und rechnet aus den obigen Formeln die Lage- und Höhenverbesserungen der im Aeronivellement entwickelten Neupunkte.

Ihre Kartierung dient als Grundlage der abschließenden Detailauswertung.

Vergleichen wir die Genauigkeit der gewöhnlichen Aeropolygonierung mit der des geschilderten Aeronivellements, so zeigt sich die Vorteilhaftigkeit des Aeronivellements bei sehr langen Streifen ebenso deutlich wie etwa beim Vergleich von Polygonzügen, wo mit zunehmender Zuglänge der Bussolenzug den Theodolitzug hinsichtlich der Lagegenauigkeit der Polygonpunkte übertrifft.

38,65 Objektive Doppelprojektion, Aeroprojektor Multiplex von *Zeiß-Aerotopograph*

Als objektiv betrachtbares optisches Modell bezeichneten wir ein solches, das gleichzeitig beliebig vielen Beobachtern sichtbar gemacht wird, so daß u. U. auch gleichzeitig mehrere Personen auswerten können.

Die bis jetzt erwähnten allgemeinen Grundzüge zur Orientierung von Bildreihen sind nun nur mehr durch einige schlagwortartige Hinweise zu ergänzen, um jenen Arbeitsvorgang darzustellen, der sich bei Anwendung des Aeroprojektors Multiplex[99] von *Zeiß-Aerotopograph* (Abb. 238) ergibt.

Auf einem die Flugrichtung angebenden Hauptträger sind mehrere Projektoren (bei Sonderausführungen bis zu 21 Stück) befestigt und gegeneinander orientierbar.

Die zur absoluten Orientierung eines Bildpaares oder einer Bildreihe notwendige Bewegung des Hauptträgers erfolgt über seitliche Schraubsäulen, die

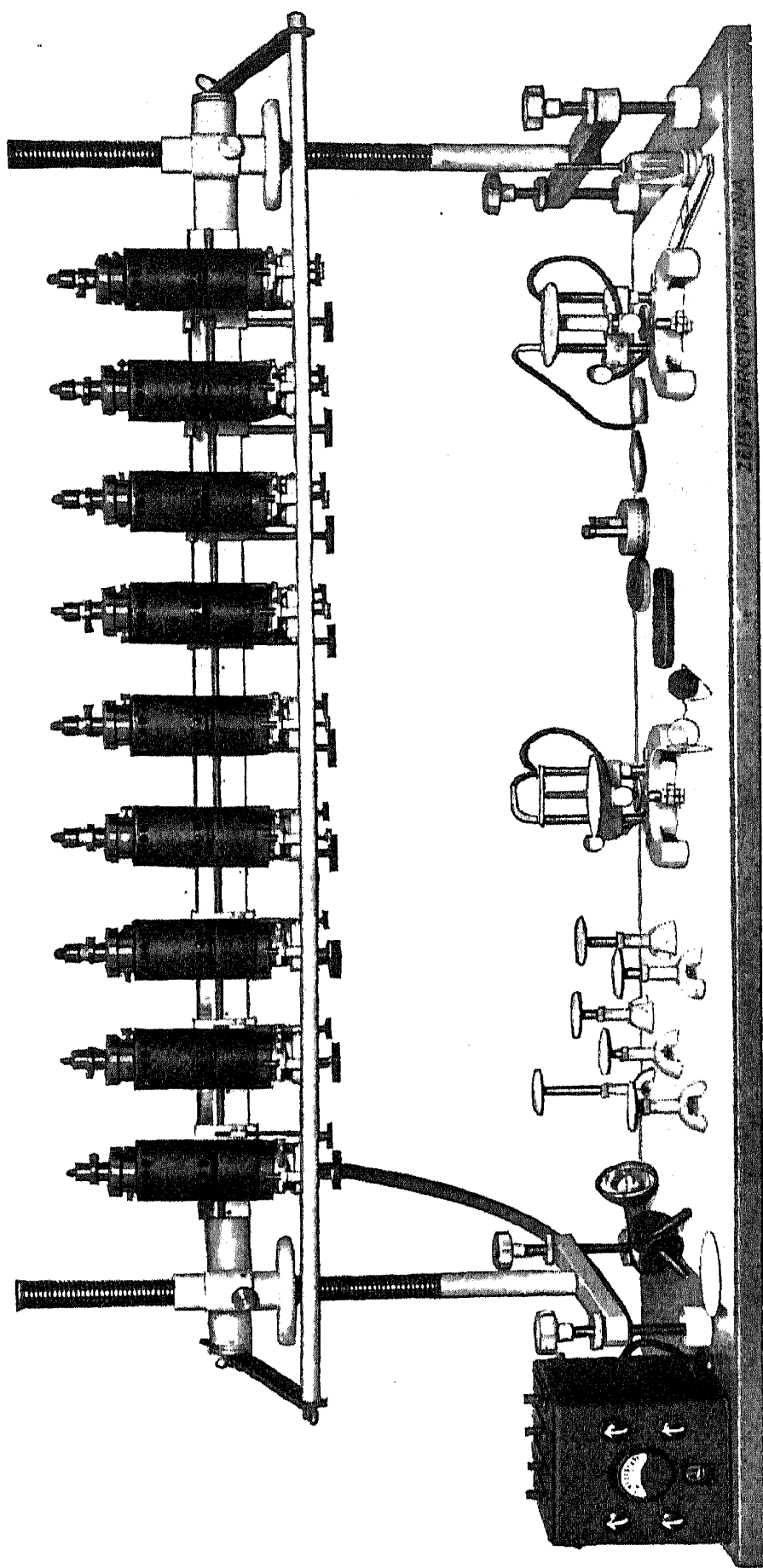



Abb. 238. (*Zeiß-Aerotopograph.*)

Aeroprojektor Multiplex mit 9 Projektoren.

Auf der Tischfläche links Lichtanlage, anschließend 6 Paßpunktsäulchen, 2 Auffangtischchen mit Zeicheneinrichtung und sonstiges Zubehör.

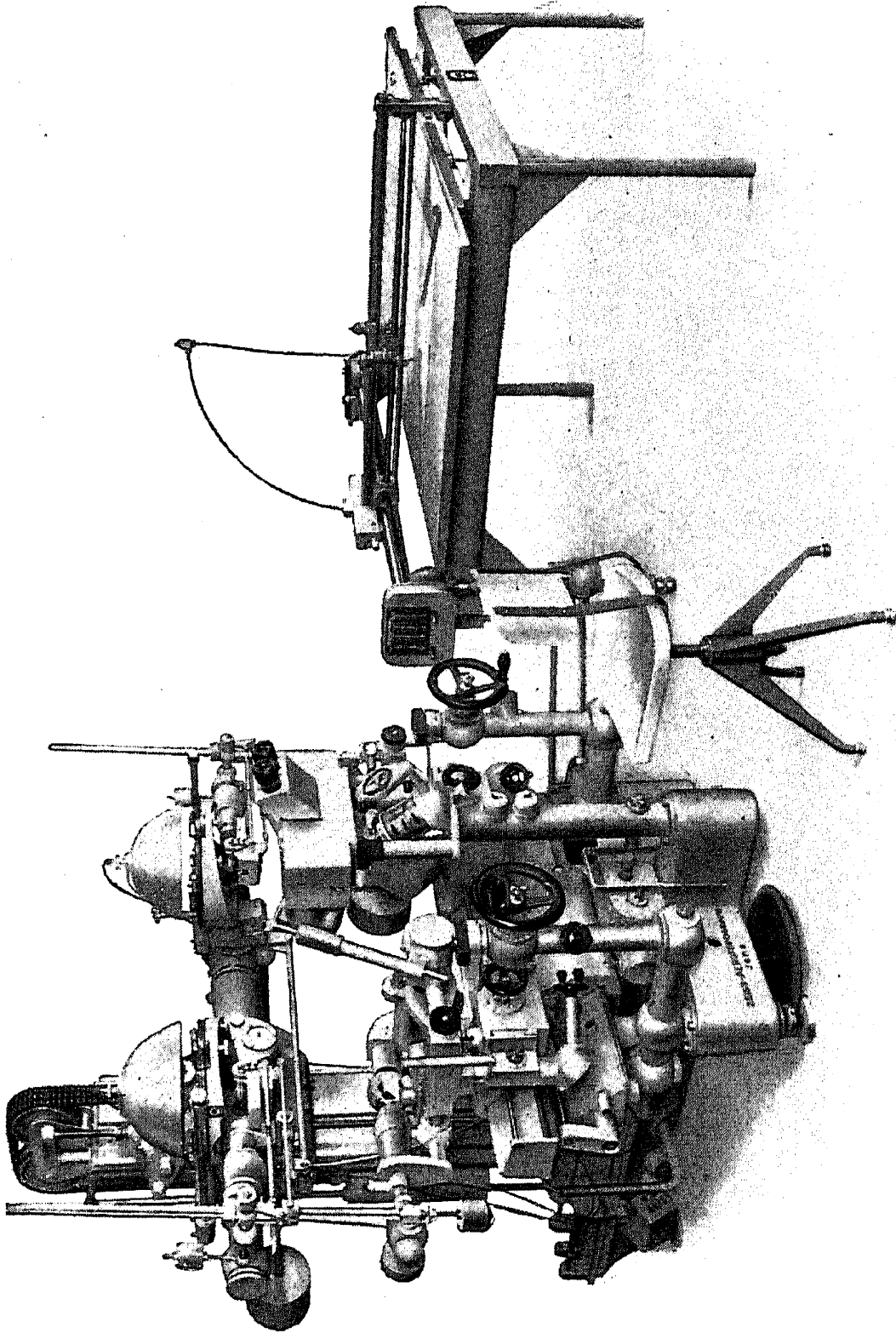



Abb. 239. (*Zeiß-Aerotopograph.*)

mit Stellschrauben auf der Kartierungsfläche aufstehen. Aus den Originalbildern auf das Format 40×40 mm bzw. 54×54 mm verkleinerte Diapositive werden paarweise als Anaglyphenbilder [36] projiziert. Jeder Beobachter, der ein Bildpaar mit farbenrichtiger Anaglyphenbrille betrachtet, sieht das zugehörige optische Modell bzw. ist imstande, es durch die gegenseitige Orientierung der beiden beteiligten Projektoren entstehen zu lassen.

Wenn mehrere Beobachter gleichzeitig an einem optischen Modell auswerten, ist der gelegentliche Eintritt von Pseudoskopie [36] unvermeidlich.

Das raumrichtige Modell erscheint, soferne man entweder die Brillenfarben vertauscht (Bügel sind um 180° klappbar) oder die Tischseite wechselt.

Wegen der kurzen Brennweite und starken Abblendung der Projektionsobjektive erstreckt sich die Tiefenzone voller Scharfabbildung auf die Gesamtheit eines praktisch möglichen optischen Modells.

Die in [38,61] ganz allgemein erwähnten P a ß p u n k t s ä u l e n sind hier tatsächlich vorhanden, und auf ihrer in richtige Höhe gebrachten Schirmfläche beurteilt der Arbeitende die Wirkung der Orientierungsbewegungen zur Beseitigung der y-Parallaxen. Wenn man das Modell so wie üblich betrachtet, d. h. die Brille bzw. die Augenbasis und der Augenäquator in der x-Richtung liegt, dann sind kleinste Reste von y-Parallaxen nur schwer zu erkennen, weil lediglich Äquatorialparallaxen scharf erfaßt werden [36].

Durch entsprechende Kopfwendung um 90° kommen die Augenäquatoren in die Richtung der y-Achse und erkennen nunmehr die zu beseitigenden restlichen y-Parallaxen sehr genau. Zur Erleichterung der Orientierung bzw. ihrer Verschärfung sind mehrere Verfahren im Gebrauch, die insbesondere während des letzten Krieges vielfältig ergänzt und verbessert worden sind, wesentlich aber immer auf die in [38,61] bis [38,62] dargestellten Leitsätze zurückgreifen.

Der Aeroprojektor M u l t i p l e x von *Zeiß-Aerotopograph* verwirklicht den Grundzug und Vorgang der Doppelprojektion nach außen hin in so klarer und übersichtlicher Weise, daß dieses Gerät ein vorzügliches Mittel zum Studium der Luftbildauswertung darstellt bzw. überhaupt zur Schulung und Sammlung von Erfahrungen auf diesem Gebiet[99b].

Die praktische Anwendung war von vornherein, unter Beachtung aller fehlertheoretischen und Genauigkeitsfragen, auf den Bereich k l e i n m a ß s t ä b l i c h e r Karten beschränkt worden, und hier haben die Leistungen des Multiplex vollauf befriedigt.

Es spricht durchaus für die Zweckmäßigkeit des Gerätes, daß seine nur in ganz nebensächlichen Belangen abgeänderte Grundform recht getreu bei jenen Instrumenten wiederkehrt, die nach dem gleichen Vorgang arbeiten und seit 1939 häufig da und dort nachkonstruiert worden sind.

Außerhalb Europas verwendet man solche Geräte auch für Arbeiten, die nach europäischer Ansicht, zufolge der hier höher gespannten Genauigkeitsforderungen, in den Aufgabenbereich einer hochpräzisen Auswertemaschine gehören, deren Anschaffung stets größere Wirtschaftlichkeit gewährleistet.

Der in den vorhergehenden Abschnitten umrissene Grundsatz des Verfahrens der Bearbeitung einer Bildreihe führt beim M u l t i p l e x

rein graphisch zur Doppelkartierung von Paßpunkten, d. h. zu Lagewidersprüchen, die nur mit zeichnerischer Genauigkeit ermittelbar sind, während sich die Höhen an den Säulenteilungen ablesen lassen. Da die ausgeglichene Lage der Neupunkte ebenfalls nur zeichnerisch hergestellt wird, genügt für die einfachen Rechnungen der Widerspruchsverteilung die Genauigkeit eines Rechenschiebers.

Die erreichbare Lagegenauigkeit entspricht der zeichnerischen Verschwindungsgrenze. Man kartiert daher in einem bis zu 5mal größeren Maßstabsverhältnis und verkleinert schließlich auf das geforderte Verhältnis. Die ausgeglichenen Höhen werden durchschnittlich Fehler von etwa 1‰ der Flughöhe aufweisen, die bei sehr langen Triangulationsstreifen mit vielen Projektoren entsprechend höher ansteigen können.

Weitere Einzelheiten müssen bei Bedarf der Literatur bzw. ausführlichen Gebrauchs- und Arbeitsanweisungen[99] entnommen werden.

38,66 Subjektive Doppelprojektion, Stereoplanigraph *Zeiß-Aerotopograph*, Autograph A 5 und Stereokartiergerät A 6 von *Wild*

Das subjektive, nicht auffangbare optische Modell entsteht nach der in [36] erläuterten Art unter Vermittlung eines Stereoskops, so daß es von mehreren Beobachtern nicht gleichzeitig, sondern stets nur nacheinander betrachtet werden kann.

Alle modernen Auswertemaschinen sind in dieser Art konstruiert und unterscheiden sich im Sinne der Angaben von [36,1] einerseits durch die Ausführung der die Zielstrahlen darstellenden Lenker und andererseits durch die Auswertegenauigkeit.

Da wir uns hier nur mit dem Grundsätzlichen befassen wollen und aus Raumgründen auch nur auf Instrumente eingehen, die im deutschen Sprachgebiet erzeugt worden sind, nämlich bei *Wild* in Heerbrugg-Schweiz und *Zeiß-Aerotopograph* in Jena, erkennen wir hinsichtlich der Auswertegenauigkeit folgende Leitgedanken.

Die fortschreitende Entwicklung der Luftbildmessung förderte das Bestreben sämtlicher europäischen Konstrukteure, nicht nur der von *Zeiß* (Jena) bzw. *Heyde* (Dresden), die sich zu *Zeiß-Aerotopograph* in Jena vereinigten, und *Wild*, sondern auch von *Nistri* (Ottico Meccanica Italiana, Roma), *Santoni* (Officine Galileo, Firenze), *Ferber* (Gallus, Paris), *Poivilliers* (Societé d'Optique et de Mécanique, Paris)[100], eine universell verwendbare Auswertemaschine für Arbeiten höchster Präzision (gewissermaßen I. Ordnung) zu schaffen und für Aufgaben mit weniger hochgespannten Genauigkeitsforderungen ein einfacheres, billigeres und wirtschaftlich arbeitendes Gerät II. Ordnung bereitzustellen.

Vergleicht man in dieser Hinsicht den Autographen A 5 und das Stereokartiergerät A 6 von *Wild* bzw. den Stereoplanigraphen und Aeromultiplex von *Zeiß-Aerotopograph*, so ist ihre grundsätzliche Verschiedenheit dadurch gegeben, daß die *Wild*-Instrumente das rein mechanische Prinzip [36,1], die Instrumente von *Zeiß-Aerotopograph* aber den rein optischen Weg der Doppelprojektion anwenden.

Der Autograph A 5 von *Wild* bzw. der Stereoplanigraph von *Zeiß-Aerotopograph* sind Präzisionsauswertemaschinen I. Ordnung. Ihnen ist das Stereokartiergerät A 6 bzw. der Aeromultiplex als Gerät II. Ordnung zugeordnet. Es wurde indessen bereits bemerkt, daß jedes dieser Geräte II. Ordnung auch zur selbständigen Bearbeitung von Aufgaben verwendbar ist, die etwas geringere Genauigkeit zulassen.

In der folgenden Zusammenstellung werden die wichtigsten Eigenschaften und Kennzeichen der obigen Instrumente, mit Ausnahme des bereits genannten objektiv arbeitenden Aeromultiplex [38,65], aufgezählt.

Stereoplanigraph von *Bauersfeld-Zeiß*[101]

Als Universalgerät (Abb. 239) zur höchstgenauen Auswertung von praktisch beliebig gerichteten Erd- oder Luftmeßbildreihen mit Kammerbrennweiten von 50—250 mm ist es für alle Formate bis 18 × 24 cm verwendbar. Das Originalformat 30 × 30 cm muß mit einem Spezialgerät vorher auf 19 × 19 cm verkleinert werden.

Die Doppelprojektion erfolgt nach dem *Porro-Koppe*schen Prinzip über zwei mit der Aufnahmeoptik übereinstimmende Objektive auf Schirme, die als Spiegel ausgebildet sind und den auf ihnen entstehenden Bildausschnitt, zugleich mit der in jedem Spiegelzentrum befindlichen Meßmarke, über Betrachtungsmikroskope den Augen zulenken. Diese erfassen im Stereoskop die dargebotenen Teilbilder, und das Gehirn rekonstruiert aus ihnen den Ausschnitt des optischen Modells, wie auch die Raummarke. Ihre zur Auswertung des Raumbildes notwendigen Verschiebungen entstehen parallel zur Zeichenebene x, y durch zwei Handräder, deren Drehung einen Zeichenstift den Grundriß des Markenweges aufzeichnen läßt. Zur Höhen- (z-) Änderung der Raummarke dient eine Fußscheibe. Sämtliche Bewegungsgrößen, Basis- und Richtungseinstellungen bzw. Verdrehungen der Projektoren können an Längs- bzw. Kreisteilungen abgelesen werden, so daß nach durchgeführter Orientierung alle Daten für spätere Zwecke (Ausgleichung einer Lufttriangulation, Wiederherstellung des absolut orientierten Modells zur Detailauswertung usw.) auch numerisch verfügbar sind.

Das *Zeiß*-Parallelogramm des Stereoplanigraphen ist in seiner Nullstellung, nämlich für die Basis $b = 0$, bei Heranziehung der

Abb. 209, durch die Lage der Projektionszentren O_1, O_2 und der beiden Spiegel mit den Meßmarken P'', P' gegeben.

Ist die Basis b nach ihren drei Raumkomponenten eingestellt, dann befinden sich die Meßmarken in P und P' im geforderten Abstand $c - b$ (bei Basis innen) bzw. $c + b$ (bei Basis außen) [38,63].

Bei der Messung werden die notwendigen Bewegungen in der x-Richtung (O_1O_2) von dem Meßmarkenträger, in der y- bzw. z-Achse aber von den Projektoren ausgeführt.

Der eingangs angedeutete Weg der Lichtbündel fordert, daß in ihrem zwischen Projektionsobjektiv und -fläche liegenden Teil ein optisches System eingeschaltet wird, das die volle Schärfe des auf dem Spiegel projizierten Bildes bewirkt.

Die Änderung der Brennweite dieses von *Bauersfeld* erfundenen Vorsatzsystems wird über die Spiegelbewegung automatisch gesteuert, so daß die Wirkung des Systems auf die Schärfe des Bildes in der Spiegelebene durchaus vergleichbar ist mit der Wirkung, die der Akkommodationszwang auf die Krümmung bzw. Brennweite der Linse des menschlichen Auges und damit auf die Scharfabbildung am gelben Fleck [15,1] ausübt.

Durch die Steuerung wird die Ziellinie jedes Vorsatzsystems stets parallel der zugehörigen Richtung vom Projektionszentrum zur Meßmarke gehalten und Vergrößerungsausgleich erzeugt, so daß Fern- und Nahpunkte größengleich erscheinen. Da außerdem die Beobachtung in Kernebenen erfolgt, ist stets störungsfreie stereoskopische Betrachtung gegeben.

Die aus verschiedenen Richtungen auf den Spiegeln entworfenen und von diesen zum feststehenden Betrachtungsokular gelenkten Teilbilder erleiden bei Bewegung der Raummarke einen Bildsturz, der indessen unmerkbar bleibt, weil ihn die automatische Mitdrehung je einer Kombination von Aufrichtprismen [16,4] aufhebt.

Durch Umschaltung eines weiteren, knapp hinter dem Doppelokular liegenden Prismensystems können die Strahlenbündel vertauscht werden, wodurch ein vorhandener orthoskopischer in den pseudoskopischen Raumeindruck übergeht und umgekehrt.

Diese Einrichtung ermöglicht den Folgebildanschluß [38,63] auch bei Vertauschung der Aufnahmeorte, der dann eintritt, wenn man ein an das Bild *II* rechts anzuschließendes Bild *III*, unter Fortnahme des Bildes *I* an dessen Stelle, also tatsächlich links von *II* einlegt. Das zugehörige vorerst pseudoskopische optische Modell wird durch die erwähnte Umschaltung in ein orthoskopisches verwandelt.

Außerdem ergibt sich bei dieser Umschaltung eine vermehrte Sicherheit für die Beurteilung von Modellanschlüssen oder überhaupt, z. B. des Aufsitzens der Raummarke auf der Modelloberfläche. Weicht

nämlich die Marke von der Oberfläche des orthoskopischen Modells in unmerkbarem Ausmaß ab, so wird der Übergang auf das pseudoskopische Modell den doppelten Betrag der Abweichung zeigen und leichter erkennen lassen.

Die zeichnerisch erreichbare Lagegenauigkeit ist durch die Verschwindungsgrenze ± 0,1 mm gegeben, und die Höhenfehler liegen durchschnittlich um 0,2‰ der Flughöhe.

Weitere Einzelheiten müssen der sehr umfangreichen Literatur entnommen werden[101a].

Wild-Autograph A 5[102]

Dieses Präzisionsuniversalinstrument (Abb. 240) dient zur Auswertung von erdphotogrammetrischen Aufnahmen oder Luftbildreihen mit praktisch beliebig gerichteten Achsen für Formate bis 18 × 18 cm und Kammerbrennweiten zwischen 98 und 215 mm.

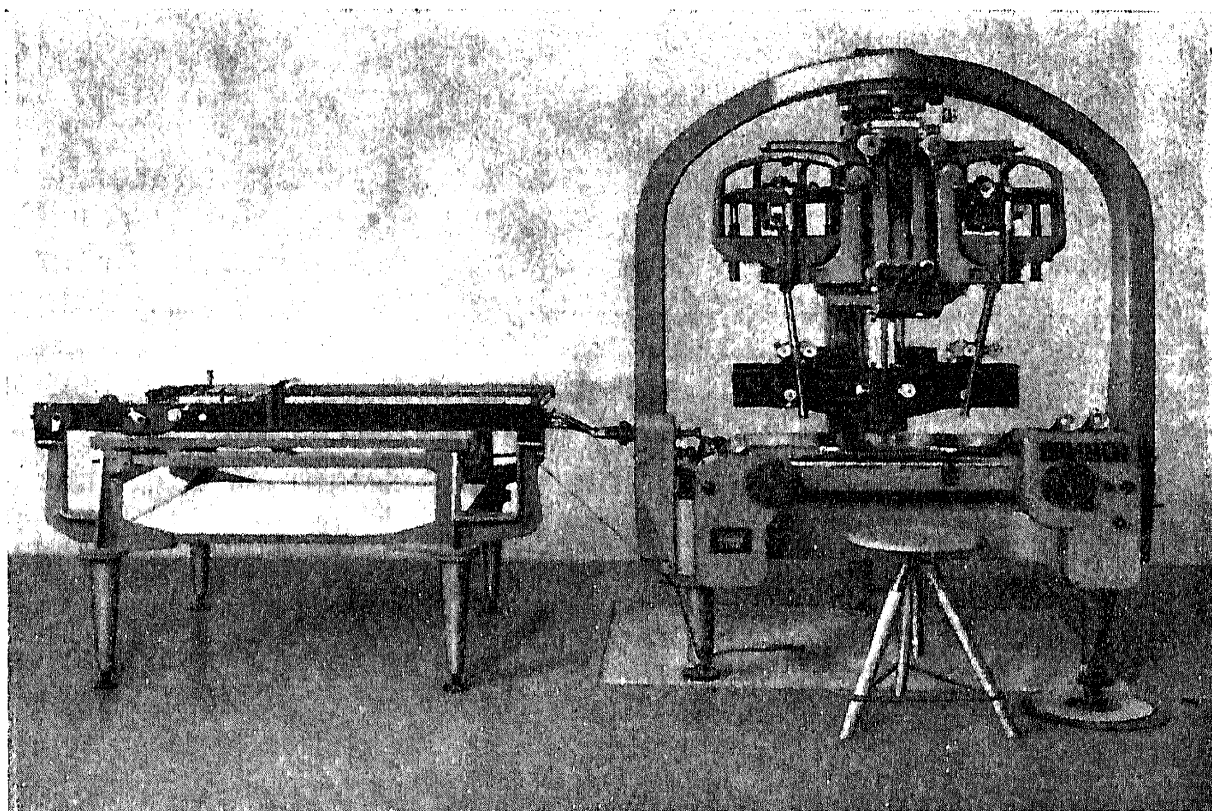



Abb. 240. Autograph *Wild* A 5. *(Wild.)*

Die Wiederherstellung der Strahlenbündel erfolgt rein mechanisch über zwei materielle Raumlenker, deren Drehpunkte in den Projektionszentren liegen.

Ein etwaiger Verzeichnungsfehler [14,3] des Objektivs der Aufnahmekammer kann bei der Auswertung rein optisch durch

eine zwischen Bild und Einstellprisma gelegte, entsprechend der Verzeichnungskurve geschliffene Kompensationsglasplatte getilgt werden. Bei der Betrachtung ist nicht nur ein Teilausschnitt, sondern der ganze Bildbereich in 8facher Vergrößerung sichtbar.

Der Vorgang für die Orientierung von Bildpaaren und -reihen bei der Kartierung, der rechnerischen und zeichnerischen Ausgleichung usw. läuft arbeitstechnisch auch beim Autographen A 5 genau so ab wie bei jeder gegenseitigen bzw. absoluten Einpassung [38,61], [38,62], d. h. überhaupt mit jenen im Wesen gleichen, nur anders angeordneten Hilfsmitteln, die beim Stereoplanigraphen etwas ausführlicher genannt wurden.

Auch bei diesem Instrument gilt bei zeichnerischer Auswertung die Verschwindungsgrenze als Maß des Lagefehlers der kartierten Punkte, deren Höhenfehler im Mittel bei 0,2‰ der Flughöhe liegt.

Hinsichtlich der Einzelheiten von Aufbau, Einrichtung, Arbeitsweise und Entwicklung des *Wild*-Autographen muß man auf die ausführliche Literatur zurückgreifen[103].

Stereokartiergerät *Wild* A 6[104]

Im Sinne der eingangs [38,6] erwähnten Grundsätze wurde dieses Instrument II. Ordnung für die beschleunigte Herstellung von Karten in Maßstabsverhältnissen kleiner als 1 : 5000 geschaffen. Schon nach außen hin ist der nur auf Steilaufnahmen eingeschränkte Aufgabenkreis durch einfachen, klaren und leicht als Doppelprojektor mit mechanischen Lenkern erkennbaren Bau angezeigt (Abb. 241).

Man darf sagen, daß dieses Gerät das Prinzip der rein mechanischen Projektion ebenso schulmäßig deutlich zum Ausdruck bringt, wie der Aeroprojektor Multiplex den Grundsatz der rein optischen Projektion.

Es können alle Bildpaare im Format bis 24 × 24 cm für Kammerbrennweiten von 98—270 mm und bei 4,2facher Bildvergrößerung ausgewertet werden, wenn die Nadirdistanzen bzw. die Neigung der Basis die Werte von 5 bzw. 4 Neugraden nicht überschreiten. So wie beim Autographen *Wild* A 5 ist optische Kompensation der Verzeichnung des Aufnahmeobjektivs vorgesehen.

Die Führung der Raummarke am optischen Modell erfolgt nicht mehr durch Handräder für zwei Achsrichtungen, sondern durch gemeinsame Bewegung der in einem Gelenk vereinigten Raumlenker mit einem Handgriff. Den durchfahrenen Grundriß überträgt ein Pantograph auf die Zeichenfläche.

Zur ablesbaren Höhenverstellung der Raummarke, die sich als Änderung der Tischhöhe auswirkt, dient eine Fußscheibe.

Für sich allein ermöglicht dieses dem Autographen *Wild* A 5 zugeordnete Gerät II. Ordnung die absolute Orientierung von Bildpaaren mit Hilfe jener Unterlagen, die der Autograph *Wild* A 5 als Gerät I. Ordnung liefert. Es sind dies entweder die numerischen Orien-

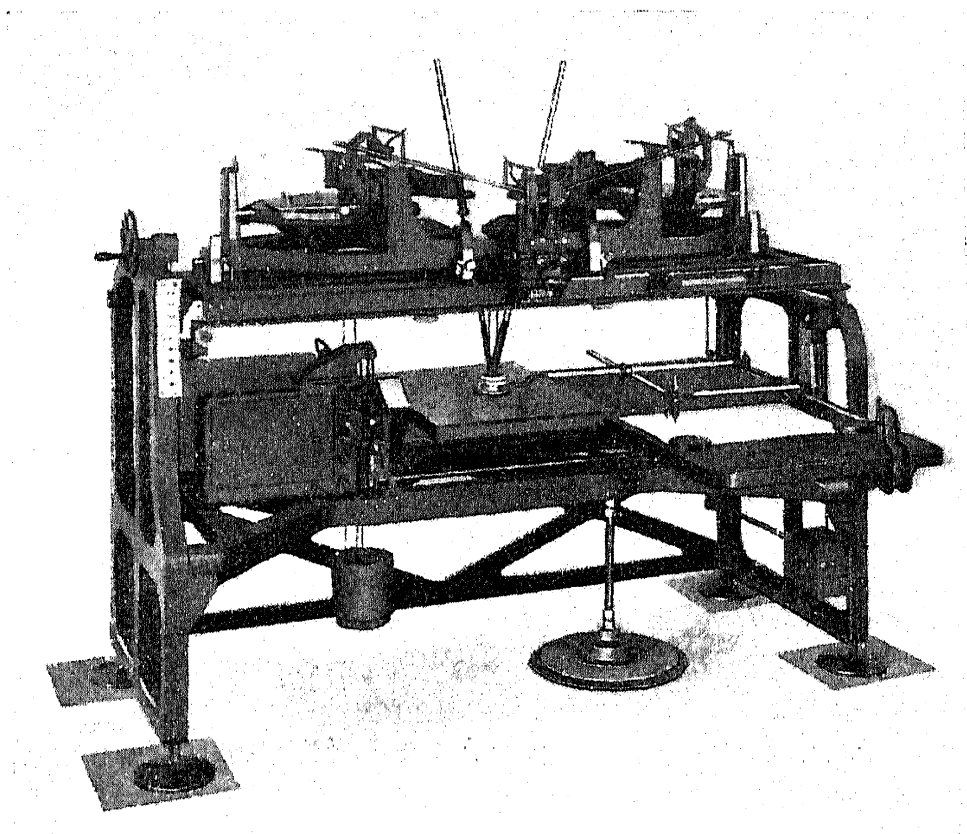



Abb. 241. *(Wild.)*

tierungselemente oder die Paßpunkte für die zeichnerische Weiterarbeit.

Das Stereokartiergerät *Wild* A 6 verwendet die von A 5 vorbereiteten Orientierungsunterlagen für je ein Bildpaar und besorgt in dem zugehörigen optischen Modell die Detailauswertung. Als besonders vorteilhaft und wirtschaftlich wird die Kombination von etwa 3—4 Stereokartiergeräten *Wild* A 6 auf einen Autographen *Wild* A 5 angegeben[104a].

Im übrigen hat es sich erwiesen, daß sich bei Hinnahme einer gewissen Umständlichkeit auch Bildreihen und nicht nur Bildpaare mit diesem Gerät bearbeiten lassen.

Der mittlere Höhenfehler beträgt etwa 0,3‰ der Flughöhe, und der Lagefehler entspricht bei zeichnerischer Bearbeitung der Verschwindungsgrenze.

38,7 Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit der automatischen Luftbildauswertung

Die gegebenen Hinweise auf die mit den besprochenen Instrumenten erreichbare Genauigkeit der Auswertung sind als Durchschnittsmaße anzusehen und aus den Resultaten von praktischen Arbeiten, Versuchen und Vergleichen abgeleitet, die nun schon in sehr großer Anzahl vorliegen. In der Zeit jener stürmischen Entwicklung, die in Europa wenige Jahre nach dem ersten Weltkrieg einsetzte, war die von manchen Zufälligkeiten und dem Fortschritt der Optik und Feinmechanik beeinflußte Genauigkeitsfrage ein scharfes Kampfmittel der erzeugenden Werke und ihrer Konstrukteure[105], aber für diese auch ein wesentlicher Ansporn zur Überwindung der Schwierigkeiten und zur Erfindung von Verbesserungen.

Heute besteht in fachlichen Kreisen kaum ein Zweifel darüber, daß die durchschnittliche Genauigkeit aller Geräte gleicher Ordnung nahezu gleichartig ist und die Bevorzugung des einen oder anderen Instrumentes derselben Ordnung bestimmte Gründe hat, die keineswegs von Genauigkeitsunterschieden abhängen.

Es scheint völlig begreiflich, daß man z. B. aus nationalen, steuer- oder finanzpolitischen Erwägungen heraus, in Italien unter den Instrumenten I. Ordnung den Stereocartografo *Santoni*[106], allen nichtitalienischen Geräten I. Ordnung, wie etwa dem Autographen *Wild* A 5 bzw. dem Stereoplanigraphen *Zeiß-Aerotopograph*, vorzieht und daß man aus den gleichen Gründen als Geräte II. bzw. III. Ordnung nicht den Aeromultiplex bzw. das Stereopantometer *Zeiß-Aerotopograph* verwendet, sondern die durchaus ähnlichen und gleichwertigen italienischen Instrumente, nämlich den Fotomultiplo *Nistri* bzw. das Stereografometro *Nistri*[107].

Sehr oft wird es die aus wirtschaftlichen Gründen angestrebte Gleichartigkeit der Ausrüstung oder persönliche, bereits vorhandene Vertrautheit mit einem Gerät sein, die seine Wahl und Anschaffung entscheidet. Erst in jenem Zeitpunkt, als die Auswertegenauigkeit der großen Zweibildmaschinen, zufolge der gegebenen feinmechanischen Grenzen, nicht mehr gesteigert werden konnte, als die mit allem Raffinement ausgebildeten Meßverfahren die letzten Möglichkeiten der Genauigkeitserhöhung aus Bild und Maschine geschöpft hatten, richtete sich das Streben der Konstrukteure auf die Verwirklichung einer glücklichen Vereinigung der meist recht gegensätzlichen Forderungen nach Genauigkeit und gleichzeitiger Wirtschaftlichkeit.

In dieser Hinsicht ist augenblicklich die in der Schweiz herausgebrachte Kombination des Präzisionsgerätes Autograph *Wild* A 5 mit dem Stereokartiergerät *Wild* A 6 sowohl hinsichtlich Schaffung genauester Unterlagen mit dem ersten Instrument und wirt-

schaftlichster Ausnutzung mit dem zweiten Gerät als mustergültig zu bezeichnen.

Kritische Vergleiche der mit verschiedenen Geräten gleicher Ordnung erreichten Genauigkeit sind sehr schwierig anzustellen, und um sie durchaus objektiv und gerecht zu entscheiden, ist die Berücksichtigung sehr vieler Nebenumstände notwendig.

Es ist nicht der Zweck dieser Einführung hierauf näher einzugehen, wohl aber sollen die allgemeinen Genauigkeitsangaben[108] für die vorhin besprochenen Präzisionsauswertemaschinen etwas erweitert und durch Mittelwerte für die Arbeitsleistung solcher Geräte ergänzt werden.

In der folgenden Tabelle stellt m_h bzw. m_L den in Metern ausgedrückten m. F. der Höhe bzw. der Lage von luftsichtbaren Punkten dar. Die Angaben der Spalten 3, 4 sind von *Finsterwalder*[109], jene der Spalten 5, 6 von *Schwidefsky*[110] entnommen und gelten für senkrechte, $^2/_3$überdeckte Normalwinkelaufnahmen des Formates 18 × 18 cm. Die Schlußspalten 7, 8 enthalten die Ergebnisse für senkrechte, ebenfalls 67% überdeckte Weitwinkelaufnahmen ($f = 20$ cm) des Formates 30 × 30 cm, die während des zweiten Weltkrieges 1942—1944 bei punktweiser numerischer Auswertung mit dem Stereoplanigraph-*Zeiß-Aerotopograph* erreicht worden waren.

Tabelle

Maßstabsfaktor des Bildes	Maßstabsfaktor der Karte	In Metern m_h	m_L	m_h	m_L	m_h	m_L
1	2	3	4	5	6	7	8
3 500	1 000			0,25	0,3		
4 000	2 500			0,25	0,8		
5 000	4 000	0,30	0,15				
6 000	5 000			0,3	1,3		
7 000	5 000	0,45	0,22				
10 000	10 000	0,75	0,38				
12 000	10 000			0,7	2,3		
18 000	25 000	1,20	0,60				
20 000	25 000			1,20	5,0	1,0	1,4
30 000	50 000	1,80	0,90			1,4	2,2
40 000	100 000					2,0	2,8

Das aus dieser Tabelle erkennbare wechselnde Verhältnis zwischen dem Maßstabsverhältnis des Bildes und der Karte[111] ergibt sich daraus, daß die Signaturen kleinmaßstäblicher Karten, von einer gewissen Grenze ab, größer gezeichnet (überhalten) werden müssen als dem Gegenstand tatsächlich zukommt. Damit z. B. das kleinste darzustellende Objekt einer Karte 1 : 25 000 noch sicher im Bild erkannt wird, ist dessen Maßstabsverhältnis mit etwa 1 : 20 000 zu wählen.

In einem Luftbild mit dem Maßstabsverhältnis 1 : 1000 würden indessen noch Einzelheiten feststellbar und meßbar sein, die in einer Karte gleichen Maßstabsverhältnisses gar nicht zur Darstellung kommen sollen, so daß man hier, wesentlich auch aus wirtschaftlichen Gründen, zu einem kleineren Maßstabsverhältnis für das Bild greift, damit dieses gerade noch das darbietet, was die herzustellende Karte zeigen soll.

Hinsichtlich der Genauigkeitsangaben sei erwähnt, daß die während des Krieges bei der Stereoplanigraphauswertung von Versuchsflügen gewonnenen numerischen Vergleichsergebnisse auf eine Genauigkeitssteigerung im Bereiche der kleinen Maßstabsverhältnisse hinweisen. Als Grund hiefür ist unter anderem die beträchtliche Vervollkommnung der bei diesen Flügen verwendeten schrumpfungsfreien Spezialfilme anzusehen.

Man wird derzeit tatsächlich annehmen dürfen, daß die numerische punktweise Auswertung von Aufnahmen mit 20 cm Brennweite bei praktischer Arbeit für Zwecke von Lufttriangulationen bei allen Zweibildmaschinen I. Ordnung für den mittleren Höhenfehler m_h bzw. den m. F. der Punktlage m_L folgende Werte erreichen läßt:

$$m_h \doteq \frac{H}{4000}, \quad m_L \doteq m_h \sqrt{2},$$

wobei H die Flughöhe darstellt.

Im übrigen ist es durchaus recht und billig, wenn die Erzeuger solcher Maschinen mit der Faustregel $m_h \doteq \frac{H}{5000}$ rechnen, weil dieser Wert gewiß in die Schwankungsbreite der vorigen Angabe fällt und auch praktisch sehr oft unterschritten wird.

Bei nicht numerischer, sondern zeichnerischer Auswertung führt selbstverständlich der Zusammenhang mit der Verschwindungsgrenze zu weniger günstigen Resultaten hinsichtlich der Lagegenauigkeit.

Nach europäischen Begriffen kann kaum ein Zweifel darüber bestehen, daß die Auswertegenauigkeit des Stereokartiergerätes *Wild* A 6 eine größere sein muß als jene eines Aeromultiplex oder ihm nachgebauter gleichartiger Projektoren[112].

Es ist natürlich ebenso gewiß, das Multiplexgeräte bei der raschen kleinmaßstäblichen Bearbeitung von Lufttriangulationen wieder gegenüber dem Stereokartiergerät *Wild* A 6 im Vorteil sind, weil dieses Gerät für den Folgebildanschluß gar nicht erdacht ist und ihn daher derzeit nur mit einiger Umständlichkeit ermöglicht.

Hinsichtlich der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit[113] beziehen wir uns auf eine modernste Zusammenfassung von zahlreichen diesbezüglichen Angaben, die im Wesen das recht gute Zutreffen einer

Faustformel $L = \frac{M}{1000}$ ha bestätigt, mit der die durchschnittliche Stundenleistung L eines modernen Präzisionsauswertegerätes, ausgedrückt in ha, darstellbar ist.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Mittelwerte der Angaben von *Kasper*[113a] und ihre Streuung in % des betreffenden Betrages zusammengestellt.

Maßstabsfaktor M der Karte	Stundenleistung in ha	Mittlere Jahresleistung in km^2	in m^2 Kartenfläche
1 000	0,8 ± 50%	36 ± 50%	36,0 ± 50%
2 500	2,0 ± 25%	90 ± 22%	14,4 ± 22%
5 000	4,5 ± 33%	203 ± 33%	8,1 ± 33%
10 000	10,5 ± 43%	485 ± 44%	4,9 ± 44%
25 000	31,0 ± 61%	1395 ± 61%	2,3 ± 61%

Die verhältnismäßig großen Streuungen berücksichtigen die vom Gelände, der Dichtigkeit der Auswertung usw. herrührenden mannigfaltigen, bald verzögernden, bald die Raschigkeit fördernden Einflüsse. Es zeigt sich übrigens, daß die obige Faustformel die allgemeinen Verhältnisse sehr gut wiedergibt.

39 Anwendungen der Photogrammetrie, Zusammenfassung und Ausblick

Die im Rahmen dieses Handbuches geforderte Beschränkung hat die nur kurze Berührung mancher Tatsachen und die Hinweisung auf ausführliche Darstellungen veranlaßt. Sie soll es indessen nicht verhindern, in wenigen abschließenden Worten Umstände allgemeiner Art zu erwähnen, die es uns ermöglichen bzw. wagen lassen könnten, aus den bisher vollbrachten Leistungen der Photogrammetrie, Vermutungen über die Art der zukünftigen Entwicklung abzuleiten.

Während am Beginne des 20. Jahrhunderts jene Wissens- und Arbeitsgebiete[114] leicht aufzählbar waren, in denen man mit photogrammetrischen Methoden bereits Wesentliches geleistet hatte oder beim Versuch der Anwendung war, erscheint es heute wohl schon einfacher, jene wenigen Gebiete zu nennen, auf denen man die Photogrammetrie noch nicht benutzt hat.

Ohne Zweifel wird man ganz kurz sagen dürfen, daß photogrammetrische Verfahren überall dort verwendbar sind, wo es überhaupt auf Distanzmessung in irgendeiner Form ankommt, daß sie sich aber dort geradezu aufdrängen, wo solche Messungen in massenhafter Zahl vorkommen oder wo die Einmaligkeit eines im Raum ablaufenden Ereignisses seine photographische Festhaltung zur späteren Betrachtung und Ausmessung veranlaßt.

Es ist gewiß, daß der Bereich der topographischen Vermessung, mit den hier anfallenden und in keinem anderen Arbeitszweig an Zahl überbotenen gleichartigen Aufgaben der Lage- und Höhenbestimmung im Gelände, den größten Antrieb für die Entwicklung der Photogrammetrie gab. Indessen ist es ebenso gewiß, daß es kaum ein anderes technisches Wissensgebiet gibt, das in völlig abliegenden, immer aber auf Distanzmessung in irgendeiner Form angewiesenen Bereichen eine derartig nutzbringende und oft entscheidende Verwendung fand wie eben die Photogrammetrie.

Da die Vorteilhaftigkeit photogrammetrischer Verfahren zur Bewältigung ingenieurwissenschaftlicher und technischer Aufgaben jeder Art ohne weiteres zu erkennen ist, sei aus der Reihe unzählig vieler ähnlicher, durchaus abseitiger Fälle nur die Röntgen-Stereo-Photogrammetrie[115] genannt und ihre ausschlaggebende Mithilfe zur Lösung von chirurgischen Problemen.

Wir müssen aus Raumrücksichten an dieser Stelle die Aufzählung der Pioniere der Photogrammetrie[116] und ihrer theoretischen bzw. praktisch konstruktiven Leistungen unterlassen und in dieser Hinsicht auf eines der ausführlichen Lehrbücher der Photogrammetrie[117] verweisen.

Im Bereich der terrestrischen Photogrammetrie dürften sich kaum neue Probleme darbieten, und die hier mögliche Fortentwicklung kann ihren Weg über eine denkbare Verfeinerung und Vervollkommnung des Aufnahmematerials zu einer entsprechenden Steigerung des Auflösungsvermögens und damit der Auswertungsgenauigkeit führen.

Eine zivile Anwendung der Infrarotphotogrammetrie als Mittel zu einer gegenüber gewöhnlichen panchromatischen Topoemulsionen etwa dreifachen Erweiterung des sonst dunstbeengten Abbildungsbereiches dürfte wohl, wegen der immer noch groben Kornstruktur infrarotempfindlicher Emulsionen, so wie in der Luftphotogrammetrie nur auf dem forstlichen Gebiet liegen, wo sie u. U. eine Ferntaxation ermöglicht, wie etwa die Feststellung und Trennung verschiedener Holzarten usw.

Bei den Objektiven der Luftbildaufnahmegeräte ist man neben dem *Zeiß*-Topogon[118] und dem *Wild*-Aviotar[55c] zu einer kaum mehr überbietbaren optischen Höchstleistung gelangt, und eine Steigerung der Bildqualität wird hinkünftig wesentlich wohl nur mehr durch eine Verbesserung des Aufnahmematerials erreichbar sein.

Die Präzisionsauswertemaschinen wurden im Konkurrenzkampf der letzten zwei Jahrzehnte unter Ausnutzung aller denkbaren optisch-mechanischen Hilfsmittel zu einem Zustand höchster Vollkommenheit

entwickelt. Bei innigster Zusammenwirkung und Verbindung zwischen Praxis und Theorie sind jene Verfahren ausgebildet worden, die das im täglichen praktischen Leben notwendige Gleichgewicht zwischen Genauigkeit der Auswertung und Wirtschaftlichkeit der Geräte herstellen lassen.

Wir haben es erwähnt, daß die sinnvolle Zusammenwirkung von Geräten verschieden hoher Ordnung[104] (Autograph *Wild* A 5 — Stereokartiergerät *Wild* A 6) den erstrebenswerten Höchstleistungen an Präzision und Wirtschaftlichkeit am nächsten kommen.

Die außerhalb Europas gepflogene Verwendung von Geräten II. Ordnung (Aeromultiplex und ihm ähnliche Nachkonstruktionen) für Aufgaben der Lufttriangulation [38,64], die wir unter allen Umständen durch Einsatz von Präzisionsauswertegeräten lösen, ist in der Tatsache begründet, daß man in den betreffenden Ländern eben jene gegenüber den Geräten I. Ordnung größeren Fehler heutzutage noch nicht störend findet, die diesem direkten Verfahren objektiver Doppelbildprojektion anhaften.

Ihr soll durchaus kein Abbruch getan werden, denn sie hat sich in dem ihr zukommenden Wirkungsbereich II. Ordnung auch in Europa hervorragend bewährt, doch wird der z. B. in Österreich augenblicklich vorhandene und auf längere Zeit hin noch schwer behebbare Mangel an Auswertungsgeräten I. Ordnung voraussichtlich kaum zu einem Einsatz von Geräten II. Ordnung bei Aufgaben führen, die Präzisionsgeräte erfordern.

Zahlreiche Erfahrungen während des ersten Weltkrieges haben, nach Überwindung seiner Folgen, in der überwältigenden Entwicklung der Luftphotogrammetrie ihren Ausdruck gefunden.

Es ist wohl leider gewiß, daß die Erschütterung dieses zweiten Weltkriegsendes den Fortschritt der Photogrammetrie, insbesondere auf dem früher bei *Zeiß-Aerotopograph* gelegenen instrumentalen Gebiet, schwerstens geschädigt und gehemmt hat. Ebenso sicher aber wird eine Unzahl von Problemen, die während des Krieges eine besondere Bedeutung erlangten, zu ihrer neuen oder eingehenderen Behandlung und Untersuchung anregen, und die während des Krieges entstandenen, völlig neuartigen Aufgaben werden dem Forschungsgeist einen wesentlichen Antrieb und Anreiz zu ihrer Lösung vermitteln.

Von den Problemen der ersten Art erwähnen wir die von anderen als bisher üblichen Gesichtspunkten ausgehenden oder strengeren Untersuchungen über die Fehlertheorie und Ausgleichung von Lufttriangulationen[119] bzw. über die gefährlichen Orte und Raumgebiete in der Luftphotogrammetrie[120].

Als Beispiel für die sich darbietenden grundsätzlich neuen, im Lösungszustand befindlichen Probleme, kann das Gebiet der Funkmeßtechnik gelten, mit dem als Navigationsmittel verwendbaren Funkmeßbild[121].

Literaturhinweise zu Abschnitt N [34]—[39]

1a *Baeschlin-Zeller,* Stereophotogrammetrie, S. 4.
1b *Sander, W.,* Über die Entwicklung der Photogrammetrie an Hand der Erfindungen unter besonderer Berücksichtigung der Doppelbild-Auswertegeräte, in: *Gruber,* Ferienkurs, S. 173.
1c *Hugershoff,* Photogrammetrie, S. 1.
1d *Löschner,* Erdbildmessung, S. 207.
1e *Jordan-Eggert,* V. K. II 2, S. 374, 432.
1f *Schwidefsky,* Einführung, S. 1.
2 Schrifttum, S. 13, 110.
3a a. a. O. 1 a, S. 322; a. a. O. 1 c, S. 28.
3b *Zaar, K.,* Beiträge zur Nahphotogrammetrie, B. u. L., 1932, Heft 3.
4a a. a. O. 1 a, S. 51; a. a. O. 1 c, S. 107.
4b *Finsterwalder,* Photogrammetrie, S. 13.
4c *Merté, W.,* Über einige Zeiß-Objektive für Photogrammetrie, in: *Gruber,* Ferienkurs, S. 65.
5 a. a. O. 1 a, S. 54; a. a. O. 1 c, S. 111; a. a. O. 1 f, S. 30.
6 a. a. O. 1 c, S. 115; a. a. O. 4 b, S. 21; Schrifttum, S. 32, 37.
7 a. a. O. 1 f, S. 53; a. a. O. 4 b, S. 21.
8 a. a. O. 4 b, S. 25; Schrifttum, S. 37.
9 a. a. O. 1 c, S. 115; a. a. O. 1 f, S. 33; a. a. O. 4 b, S. 26.
10 a. a. O. 4 b, S. 101; Schrifttum, S. 37.
11a *Hartner-Doležal,* N. G. II, S. 455.
11b a. a. O. 1 c, S. 9; a. a. O. 1 d, S. 7, 10; a. a. O. 1 e, S. 373; a. a. O. 1 f, S. 4; a. a. O. 4 b, S. 26; *Näbauer,* V. K., S. 249, 260; *Gruber, O. v.,* Geometrische Grundlagen der Photogrammetrie, in: *Gruber,* Ferienkurs, S. 11.
12 a. a. O. 1 a, S. 223; a. a. O. 1 f, S. 5; a. a. O. 4 b, S. 26.
13 a. a. O. 1 f, S. 7; a. a. O. 4 b, S. 27.
14 a. a. O. 1 f, S. 17; a. a. O. 4 b, S. 32.
15 a. a. O. 1 a, S. 24; a. a. O. 1. f, S. 15; a. a. O. 4 b, S. 32; *Gruber, O. v., Kniffe* und Pfiffe bei der Bildorientierung in Stereoauswertegeräten, L. u. L., 1937, Nr. 15.
16 a. a. O. 1 f, S. 65.
17 a. a. O. 1 f, S. 17; a. a. O. 4 b, S. 128.
18 a. a. O. 1 a, S. 223; a. a. O. 1 e, S. 386; a. a. O. 11 a, S. 472.
19 a. a. O. 1 f, S. 33.
20 a. a. O. 1 e, S. 394; a. a. O. 1 f, S. 10; a. a. O. 4 b, S. 51; *Rube,* Photogrammetrie, S. 64.
21 a. a. O. 1 c, S. 41; a. a. O. 1 d, S. 12; a. a. O. 1 e, S. 394; a. a. O. 4 b, S. 46.
22 a. a. O. 1 c, S. 44; a. a. O. 1 e, S. 396; a. a. O. 1 f, S. 21; a. a. O. 4 b, S. 53; *Näbauer,* V. K., S. 272.
23 a. a. O. 1 a, S. 181; a. a. O. 1 c, S. 49; a. a. O. 1 f, S. 25; a. a. O. 4 b, S. 37; Schrifttum, S. 35.
23a *Dock,* Auswertung, S. 7 (Literaturverzeichnis).
24 a. a. O. 1 c, S. 53; a. a. O. 1 d, S. 122; a. a. O. 1 e, S. 415; a. a. O. 11 b, S. 487; a. a. O. 23 a, S. 18.
25 a. a. O. 1 e, S. 512; a. a. O. 1 f, S. 72; a. a. O. 4 b, S. 44.
25a *Lüscher, H.,* Kartieren nach Luftbildern, Berlin 1937. Mittler, S. 74.

26 a. a. O. 1 f, S. 30; a. a. O. 4 b, S. 45; *Martin Guido,* Anaglyphen, L. u. L., 1936, Nr. 10; ders., Anaglyphen-Raumbilder, ihre Herstellung und Verwendung, L. u. L., 1936, Nr. 13; *Burkhardt, R.*, Untersuchungen zur Frage der Bildtrennung beim stereoskopischen Messen, L. u. L., 1941, Nr. 21.
27 a. a. O. 1 f, S. 31; a. a. O. 4 b, S. 45.
28 a. a. O. 1 a, S. 185; a. a. O. 1 c, S. 52; a. a. O. 4 b, S. 42.
29 *Gruber, O. v.*, Stereoskopisches Sehen und Messen, in: *Gruber*, Ferienkurs, S. 314.
29a a. a. O. 1 c, S. 55; a. a. O. 1 d, S. 111; a. a. O. 1 e, S. 416; a. a. O. 4 b, S. 17; a. a. O. 11 a, S. 491; a. a. O. 23 a, S. 23.
30 a. a. O. 1 f, S. 86; a. a. O. 4 b, S. 140.
30a *Gruber, O. v.*, Automatische Auswertegeräte, in: *Gruber*, Ferienkurs, S. 324.
31 a. a. O. 1 a, S. 14; a. a. O. 1 b, S. 188; a. a. O. 1 c, S. 77; a. a. O. 1 e, S. 486; a. a. O. 1 f, S. 89.
31a *Lego, K.*, Die photogrammetrischen Arbeiten in Österreich, Öst. Z. f. V. 1948, Heft 3 u. 4, S. 72.
32 a. a. O. 1 a, S. 28; a. a. O. 1 e, S. 414; a. a. O. 4 b, S. 73.
33 a. a. O. 1 a, S. 30; a. a. O. 1 e, S. 421; a. a. O. 4 b, S. 74.
34 a. a. O. 1 a, S. 32; a. a. O. 1 e, S. 422; a. a. O. 4 b, S. 75.
35 Schrifttum, S. 18.
35a *Dock*, Aufnahmearbeiten; a. a. O. 1 e, S. 423.
36 a. a. O. 1 a, S. 34; a. a. O. 4 b, S. 76; a. a. O. 35 a, S. 30.
37 a. a. O. 4 b, S. 78.
38 a. a. O. 1 f, S. 11; a. a. O. 4 b, S. 31; a. a. O. 29, S. 299; *Näbauer*, V. K., S. 266; *Finsterwalder, S.*, Die Kernpunkte, die gnomonische Projektion und die Reziprokalprojektion in der Photogrammetrie, A. f. Ph., 1923, Bd. VI.
39 a. a. O. 4 b, S. 39.
40 a. a. O. 1 a, S. 232; a. a. O. 1 c, S. 126; a. a. O. 1 e, S. 375; a. a. O. 4 b, S. 62; a. a. O. 11 a, S. 463; a. a. O. 35 a, S. 80.
41 *Rube*, Photogrammetrie, S. 31.
42 a. a. O. 1 e, S. 381; a. a. O. 4 b, S. 63; a. a. O. 41, S. 33; *Finsterwalder, R.*, Der leichte Feld-Phototheodolit der Firma Carl Zeiß und seine Verwendung bei der deutsch-russischen Alai-Pamir-Expedition 1928, in: *Gruber*, Ferienkurs, S. 160.
43 a. a. O. 4 b, S. 65; a. a. O. 35 a, S. 42; Schrifttum, S. 44; *Näbauer*, V. K., S. 251.
44 a. a. O. 1 a, S. 256; a. a. O. 1 e, S. 400; a. a. O. 4 b, S. 84; a. a. O. 35 a, S. 88; a. a. O. 41, S. 29; *Gruber, O. v.*, Terrestrische Aufnahme, in: *Gruber*, Ferienkurs, S. 146.
45 a. a. O. 1 e, S. 418; a. a. O. 23 a, S. 57; a. a. O. 41, S. 75.
46 a. a. O. 23 a, S. 57; Schrifttum, S. 61, 64, 67.
47 a. a. O. 1 a, S. 281, 322; a. a. O. 1 c, S. 60; a. a. O. 1 d, S. 140; a. a. O. 4 b, S. 80; *Härry, H.*, Stereophotogrammetrische Aufnahme- und Auswertungsinstrumente und angewandte Aufnahme- und Auswertungsmethoden, in: Die Photogrammetrie und ihre Anwendung bei der schweizerischen Grundbuchsvermessung und bei der allgemeinen Landesvermessung, Brugg 1926, Buchdruckerei Effingerhof, S. 110.
48 a. a. O. 1 b, S. 198; a. a. O. 1 c, S. 65; a. a. O. 1 e, S. 426; a. a. O. 1 f, S. 43; a. a. O. 4 b, S. 80; *Näbauer*, V. K., S. 284.
48a *Gruber, O. v.*, Automatische Auswertegeräte, in: *Gruber*, Ferienkurs, S. 390.
49 a. a. O. 1 c, S. 68; a. a. O. 1 e, S. 427; a. a. O. 1 f, S. 89; a. a. O. 4 b, S. 82; a. a. O. 48 a, S. 333.
50 a. a. O. 1 a, S. 269; a. a. O. 1 f, S. 110; a. a. O. 4 b, S. 88, 186; a. a. O. 35 a, S. 88; L. u. L., 1937, Nr. 15; L. u. L., 1939, Nr. 17; *Nowatzky, F.*, Bildtriangulation zur Bestimmung von Paßpunkten, Mitt. R. f. L., 1940, Nr. 2; *Förstner, R.*, Paßpunktbestimmung, L. u. L., 1943, Nr. 23.

51 a. a. O. 1 f, S. 44; a. a. O. 4 b, S. 83; a. a. O. 41, S. 79; *Rinner, K.*, Vorschlag für ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Zeichnen perspektiver Schichten im Kleinautograph, Alpenfotogrammetrie-Mitt., Wels 1948, Heft 2; *Hubeny, K.*, Die leichte Feldausrüstung TAL und der Kleinautograph, Alpenfotogrammetrie-Mitt., Wels 1948, Heft 3.

52 *Hugershoff, R.*, Tierkundliche Anwendungen der Nahbildmessung und ihre Ausgestaltung, in: Photogrammetria I (1838); *Pastorelli, H.*, Die Verwendung der Nahstereophotogrammetrie in der Kieferorthopädie, Schweiz. Z. f. V., 1944, Heft 9.

53 a. a. O. 1 a, S. 327.

53a a. a. O. 31 a.

54 a. a. O. 1 a, S. 351; a. a. O. 1 e, S. 445; a. a. O. 1 f, S. 54; a. a. O. 4 b, S. 92; *Näbauer*, V. K., S. 292.

55 a. a. O. 1 a, S. 338; a. a. O. 1 c, S. 145; a. a. O. 1 e, S. 442; a. a. O. 1 f, S. 47; a. a. O. 4 b, S. 99; a. a. O. 41, S. 26.

55a Verkaufs A. G. H. Wilds geod. Instr., Druckschrift Ph 135 (Photogramm. Instr.), S. 25, und Ph 139.

55b *Berchtold, E.*, Die vollautomatische Plattenkammer RC 7, Alpenfotogrammetrie-Mitt., Wels 1949, Heft 4; bzw. Verkaufs A. G. H. Wilds geod. Instr., Druckschrift Ph 138.

55c *Bertele, L.*, Ein neues Hochleistungsobjektiv für die Luftbildmessung, Alpenfotogrammetrie-Mitt., Wels 1949, Heft 4.

56 a. a. O. 1 a, S. 351; a. a. O. 4 b, S. 92; a. a. O. 41, S. 19; Schrifttum, S. 47; *Ertner, R.*, Vorbereitung und Durchführung von Bildflügen, L. u. L., 1940, Nr. 18.

56a *Lüscher, H.*, Kartieren nach Luftbildern, S. 6.

56b *Fischer, E.*, Das Luftbildwesen, Berlin 1938, Bernard & Graefe.

57 a. a. O. 1 a, S. 356, 364; a. a. O. 1 c, S. 219, 228; a. a. O. 1 e, S. 446; a. a. O. 1 f, S. 59; a. a. O. 41, S. 25; a. a. O. 56 b, S. 50.

57a *Simon, Paul*, Verfahren und Einrichtung zum Erzielen gerichteter Luftaufnahmen und zum Aufzeichnen der erzielten Aufnahmerichtung, L. u. L., 1943, Nr. 24; *Rieck, H.*, Einführung in die Flugtechnik, Wien 1949, Bohmann.

58 a. a. O. 1 a, S. 340, 360; a. a. O. 1 c, S. 235; a. a. O. 1 f, S. 46.

59 a. a. O. 1 a, S. 58; a. a. O. 41, S. 46.

59a *Gruber, O. v.*, Arbeitsmethoden und Arbeitseffekt, in: *Gruber*, Ferienkurs, S. 445.

60 a. a. O. 1 f, S. 53; a. a. O. 4 b, S. 98; *Schönholzer, A.*, Das Statoskop, Schweiz. Z. f. V., 1938, Heft 5, 6; *Rube, K.*, Das Statoskop und seine Genauigkeit, A. V. N., 1939, Heft 29; *Brenneisen, M.*, Das Statoskop im Flugzeug, Schweiz. Z. f. V., 1946, Heft 2.

61 *Löfström, K. G.*, Die letzten Fortschritte in der Horizont- und Statoskopvermessung, Schweiz. Z. f. V., 1946, Heft 7; Die Wild'sche Statoskop-Ausrüstung, Druckschrift, Verkaufs A. G. H. Wilds geod. Instr., 1949.

62 a. a. O. 1 f, S. 53; a. a. O. 4 b, S. 98; a. a. O. 61; *Löfström, K. G.*, Entzerrung von Luftbildern durch Horizontbildvermessung und Verfahren zur Herstellung von Bildplänen, B. u. L., 1932, Heft 3.

62a a. a. O. 1 f, S. 119; a. a. O. 4 b, S. 98; *Gruber, O. v.*, Beitrag zur Theorie und Praxis von Aeropolygonierung und Aeronivellement, B. u. L., 1935, Heft 3, 4.

63 a. a. O. 1 a, S. 464; a. a. O. 1 b, S. 273; a. a. O. 10; *Näbauer*, V. K., S. 294.

64 a. a. O. 1 a, S. 354; a. a. O. 1 c, S. 217; a. a. O. 1 f, S. 63; a. a. O. 4 b, S. 92; a. a. O. 41, S. 27; a. a. O. 56 a, S. 6, 17; a. a. O. 56 b, S. 47, 226.

65 a. a. O. 1 c, S. 119; a. a. O. 1 f, S. 36; a. a. O. 56 b, S. 69.

66 a. a. O. 1 a, S. 187; a. a. O. 1 f, S. 65; a. a. O. 4 b, S. 92; a. a. O. 56 a, S. 17; a. a. O. 56 b, S. 119; *Fischer, E.*, Lesen des Luftbildes, Berlin 1938, Bernard & Graefe.

67 L. u. L., Nr. 13, 1936 (Luftbildtopographie); Nr. 14, 1937, (Luftbildlesebuch); Nr. 16, 1938 (Luftbild und Vorgeschichte); Nr. 19, 1941 (Luftbild und Gebirgskunde); Nr. 20, 1941 (Luftbild und Geomorphologie); Nr. 22, 1941 (Luftbild, Landschaft und Siedlung).

67a *Rube, K.*, Geographische Ortsbestimmung aus Schatten in Luftaufnahmen, L. u. L., Nr. 35, 1943.

68 a. a. O. 1 c, S. 22; a. a. O. 1 f, S. 85; a. a. O. 41, S. 40; a. a. O. 56 a, S. 30; a. a. O. 56 b, S. 192.

69 a. a. O. 1 c, S. 12; a. a. O. 1 e, S. 448; a. a. O. 1 f, S. 67; a. a. O. 4 b, S. 207; a. a. O. 56 a, S. 45; a. a. O. 56 b, S. 196.

70 a. a. O. 1 c, S. 40; a. a. O. 4 b, S. 206; a. a. O. 56 a, S. 66; a. a. O. 56 b, S. 194; *Näbauer,* V. K., S. 270.

71 a. a. O. 1 c, S. 13; a. a. O. 1 f, S. 68; a. a. O. 4 b, S. 208; a. a. O. 41, S. 49; a. a. O. 56 a, S. 46; a. a. O. 56 b, S. 200.

72 a. a. O. 1 f, S. 70; a. a. O. 4 b, S. 210; a. a. O. 41, S. 47; a. a. O. 56 a, S. 34.

73 a. a. O. 1 a, S. 18; a. a. O. 1 c, S. 17; a. a. O. 1 e, S. 450; a. a. O. 4 b, S. 213; a. a. O. 41, S. 54; Schrifttum, S. 49; *Näbauer,* V. K., S. 295.

74 a. a. O. 1 c, S. 19; a. a. O. 1 e, S. 455; a. a. O. 1 f, S. 81; a. a. O. 4 b, S. 219; a. a. O. 56 a, S. 56; Schrifttum, S. 47; *Schwidefsky, K.*, Das Entzerrungsgerät, Berlin 1935, Wichmann.

74a *Gruber, O. v.*, Automatische Auswertegeräte, Arbeitsmethoden und Arbeitseffekt, in: *Gruber,* Ferienkurs.

75 a. a. O. 1 f, S. 79; a. a. O. 4 b, S. 225; a. a. O. 41, S. 54; a. a. O. 56 a, S. 60; a. a. O. 56 b, S. 208; a. a. O. 74 a.

76 a. a. O. 1 f, S. 81; a. a. O. 4 b, S. 223; a. a. O. 41, S. 52; a. a. O. 56 a, S. 50; Zeiß-Aerotopograph, Luftbildumzeichner, Druckschrift ZA 162.

77 a. a. O. 1 a, S. 19; a. a. O. 1 e, S. 461; a. a. O. 1 f, S. 112; a. a. O. 4 b, S. 163; a. a. O. 41, S. 101; Schrifttum, S. 55.

77a *Dock, H.*, Über das neue Verfahren zur Bestimmung der Abweichung der angenäherten Parallelstellung und zur Auffindung der Nadirpunkte von Luftaufnahmen, Deutsche Ges. f. Photogrammetrie, Mitt., 1939, Heft 3.

78 a. a. O. 1 a, S. 468; a. a. O. 1 c, S. 197; a. a. O. 1 e, S. 466; a. a. O. 1 f, S. 116; a. a. O. 4 b, S. 169; a. a. O. 29, S. 320; a. a. O. 74 a; *Bertram, H.*, Bildtriangulation im Stereoplanigraphen und Multiplex, L. u. L., 1940, Nr. 18; *Nowatzky, F.*, Bildtriangulation in festpunktarmen Gebieten, Photogrammetria, 1942.

79 a. a. O. 1 c, S. 216; a. a. O. 1 f, S. 114; a. a. O. 4 b, S. 171; a. a. O. 59 a, S. 469; *Finsterwalder, S.*, Die Fehlergesetze gleichförmiger gestreckter Dreiecksketten, Sitz.-Ber. Bayer. Akad. d. Wiss., math. Kl., 1933; *Gruber, O. v.*, Beitrag zur Theorie und Praxis von Aeropolygonierung und Aeronivellement, B. u. L., 1935, Heft 3, 4; *Merkel, H.*, Koordinatenumformung durch maschenweise Abbildung; *Näbauer,* V. K., S. 315; *Buchholtz, A.*, Zur Fehlertheorie des Rautenzugs, A. f. Ph., Bd. VIII/1; *Schermerhorn, W.*, *Neumaier, K.*, Systematische Fehler bei der Aerotriangulation, Photogrammetria, 1939; *Roelofs, R.*, Fehlertheorie der Aerotriangulation, Photogrammetria, 1941.

80 a. a. O. 1 f, S. 111, 171; a. a. O. 4 b, S. 179; Schrifttum, S. 55; *Rehn, R.*, Fehleruntersuchungen zur Nadirpunkttriangulation, B. u. L., 1929, Heft 2; *Buchholtz, A.*, Über die Ausgleichung von Bildtriangulationen, B. u. L., 1930, Heft 1; *Finsterwalder, S.*, Die praktische Verwertung von astronomisch georteten Luftaufnahmen, B. u. L., 1938, Heft 3; ders., Die gemeinsame Kopplung dreier Luftaufnahmen desselben Geländes, Sitz.-Ber. Bayer. Akad. d. Wiss., 1941.

81 a. a. O. 1 f, S. 117; a. a. O. 4 b, S. 171; *Scherpbier, B.*, Radialtriangulation mittels Schlitzschablonen, Photogrammetria, 1940; *Burkhardt, R.*, *Förstner, R.*,

Rube, K., *Schwidefsky, K.*, Die Radialschlitz-Triangulation, eine neue Ausführungsform der Radialtriangulation, L. u. L., Nr. 29, 1944.

82 a. a. O. 1 f, S. 73; a. a. O. 4 b, S. 195; a. a. O. 41, S. 81; a. a. O. 56 a, S. 75.

82a Beschreibung und Gebrauchsanweisung zum Stereopantometer, Zeiß-Aerotopograph, Druckschrift M 156, 1942; Zeiß-Aerotopograph, Stereopantometer, Druckschrift ZA 141; Zeiß-Aerotopograph, Raumbildmeßgerät, Beschreibung und Gebrauchsanweisung, Druckschrift (Hm 35), 1944.

83 a. a. O. 1 c, S. 76; a. a. O. 1 f, S. 74; a. a. O. 56 a, S. 76; a. a. O. 82 a, S. 20, 27; *Troeder*, Die praktische Anwendung des Stereopantometers bei der Kartenberichtigung nach Luftbildern, Mitt. R. f. L., 1943, Heft 1—2.

84 a. a. O. 4 b, S. 197; a. a. O. 41, S. 88; a. a. O. 82 a, S. 36.

84a a. a. O. 82 a, S. 37; Zeiß-Aerotopograph, Stereopantometer, Druckschrift ZA 148.

85 a. a. O. 4 b, S. 198; *Kern, W.*, Ein neues stereoskopisches Auswertegerät für Luftaufnahmen, Öst. Z. f. V., 1937, Heft 3; *Schwidefsky, K.*, Das Orthostereometer W. Kern, Photogrammetria, 1939.

86 a. a. O. 1 b, S. 188, 231; a. a. O. 1 c, S. 4, 60; a. a. O. 1 e, S. 486.

87 a. a. O. 1 a, S. 12; a. a. O. 1 e, S. 472; a. a. O. 1 f, S. 15; a. a. O. 4 b, S. 29, 101; a. a. O. 74 a, S. 457; *Gotthardt, E.*, Genauigkeitsfragen beim räumlichen Rückwärtseinschnitt und bei der Doppelpunkteinschaltung im Raum, Z. f. V., 1942, Heft 10.

88 a. a. O. 1 a, S. 24, 380; a. a. O. 1 c, S. 180; a. a. O. 1 e, S. 478; a. a. O. 1 f, S. 102; a. a. O. 4 b, S. 104; a. a. O. 41, S. 93; Schrifttum, S. 60.

89 a. a. O. 1 a, S. 378; a. a. O. 1 c, S. 185; a. a. O. 1 e, S. 479; a. a. O. 1 f, S. 101; a. a. O. 4 b, S. 101; *Bachmann, W. K.*, Méthode de la connexion des images et théorie des erreurs de l'orientation relative, Schweiz. Z. f. V., 1945, Heft 5—10; *Krames, L.*, Genauigkeitssteigerung der gegenseitigen Einpassung von Luftaufnahmen auf Grund noch nicht beachteter Bedingungsgleichungen zwischen den Orientierungsgrößen, Öst. Z. f. V., 1948, Heft 1—4.

90 a. a. O. 1a, S. 448; a. a. O. 1c, S. 180; a. a. O. 1 f, S. 103, 118; a. a. O. 4b, S. 104, 111, 129.

91 a. a. O. 1a, S. 448; a. a. O. 1c, S. 180; a. a. O. 1f, S. 103, 118; a. a. O. 4b, S. 104, 121, 131; *Zeller, M.*, Der Folgebildanschluß mit Statoskop und seine praktische Durchführung am Wild-Autograph A 5, Schweiz. Z. f. V., 1942, Heft 3, 4; ders., Folgebildanschluß mit Statoskopangaben, Schweiz. Z. f. V., 1945, Heft 4; *Bachmann, W. K.*, Zum Folgebildanschluß mit Statoskopangaben, Schweiz. Z. f. V., 1945, Heft 4; *Kasper, H.*, Bemerkungen zum Folgebildanschluß, Schweiz. Z. f. V., 1948, Heft 7; *Krames, L.*, Über ein graphisches Verfahren zum gegenseitigen Einpassen von Luftbildaufnahmen, Öst. Z. f. V., 1949, Heft 1—3.

92 a. a. O. 1 a, S. 388; a. a., O. 1 f, S. 104; a. a. O. 4 b, S. 116; *Gänger, H.*, Die Berechnung des Überstellungskoeffizienten für die Neigungsverbesserung bei Senkrechtaufnahmen, Deutsche Ges. f. Photogrammetrie, Mitt., 1938, Heft 1; *Kasper, H.*, Die Überkorrektur bei der gegenseitigen Orientierung von Senkrechtaufnahmen eines beliebigen Geländes, Schweiz. Z. f. V., 1949, Heft 5.

93 a. a. O. 1 a, S. 90; a. a. O. 1 f, S. 89, 94; a. a. O. 4 b, S. 147.

94 a. a. O. 1 e, S. 485; a. a. O. 1 f, S. 121; a. a. O. 4 b, S. 157, 161; Schrifttum, S. 55; *Näbauer*, V. K., S. 320; *Gruber, O. v.*, Beitrag zur Theorie und Praxis von Aeropolygonierung und Aeronivellement, B. u. L., 1935, Heft 3, 4; *Wiser, P.*, Contribution à l'étude de l'aéronivellement, Schweiz. Z. f. V., 1949, Heft 1—3.

94a Zeiß-Aerotopograph, Luftbildkartiergerät (Hm 42) (Hm 43), Beschreibung und Gebrauchsanweisung, 1944, S. 42, 52.

95 a. a. O. 1 f, S. 120; a. a. O. 4 b, S. 158, 172; *Zarzycki, J.*, Graphische Interpolationsausgleichung eines Doppelstreifens, Schweiz. Z. f. V., 1949, Heft 7;

Wiser, P., La restitution et la compensation des rubans grand'angulaires — la méthode des déformations, Lüttich 1949, Imprimerie Thone.
96 a. a. O. 60 u. 62; a. a. O. 94 a, S. 56; *Gruber, O. v.*, Horizontbilder und ihre Verwendung, Photogrammetria, 1940.
97 a. a. O. 4 b, S. 212; *Aschenbrenner, C.*, Über die Berücksichtigung von Erdkrümmung und Refraktion bei der mechanischen Auswertung von Stereophotogrammen Z. f. I., 1925, Heft 4; ders., Der Einfluß der atmosphärischen Strahlenbrechung in der Luftbildmessung, B. u. L., 1937, Heft 1; *Ramsayer, K.*, Die Änderung der astronomischen Refraktion mit der Höhe, Photogrammetria, 1942; *Bachmann, W. K.*, Influence de la courbure de la terre sur les triangulations aériennes, Schweiz. Z. f. V., 1945, Heft 1; *Boaga, G.*, Elementi di Geodesia e Topografia, Padova 1941, S. 784.
98 a. a. O. 94 a, S. 54.
99 a. a. O. 1 f, S. 91; a. a. O. 4 b, S. 142; a. a. O. 41, S. 90; a. a. O. 56 a, S. 81.
99a a. a. O. 94 a.
99b *Gruber, O. v.*, *Burkhardt, R.*, Der Aeroprojektor Multiplex als Anschauungs- und Übungsgerät im photogrammetrischen Unterricht, B. u. L., 1936, Heft 1; Zeiß-Aerotopograph, Druckschrift ZA 62; Zeiß-Aerotopograph, Multiplex, Druckschrift ZA 76.
100 a. a. O. 1 a, S. 155; a. a. O. 1 b; a. a. O. 1 c, S. 60; a. a. O. 1 e, S. 486; a. a. O. 1 f, S. 86; a. a. O. 4 b, S. 140; a. a. O. 30 a; Schrifttum, S. 31.
101 a. a. O. 1 a, S. 89; a. a. O. 1 b, S. 227; a. a. O. 1 c, S. 94; a. a. O. 1 e, S. 496; a. a. O. 1 f, S. 93; a. a. O. 4 b, S. 145; a. a. O. 30 a, S. 396; a. a. O. 41, S. 97.
101a Schrifttum, S. 51.
102 a. a. O. 1 f, S. 100; a. a. O. 4 b, S. 155; a. a. O. 55 a, S. 39; Druckschriften Ph 125, Ph 141 der Verkaufs A. G. H. Wilds geod. Instr., Heerbrugg; *Berchtold, E.*, Konstruktionsgrundlagen zum Wild-Autographen Modell A 5, Druckschrift Ph 119 der Verkaufs A. G. H. Wilds geod. Instr., Heerbrugg; *Kasper, H.*, Sur la précision de l'orientation relative à l'Autographe Wild A 5, Schweiz. Z. f. V., 1949, Heft 7.
103 a. a. O. 1 a, S. 115; a. a. O. 1 c, S. 71; a. a. O. 1 e, S. 507; a. a. O. 30 a, S. 408; Schrifttum, S. 51.
104 a. a. O. 1 f, S. 101; a. a. O. 55 a, S. 43; *Voegeli, R.*, Einpassung und Auswertung von Flugaufnahmen am Stereokartiergerät A 6 der Firma Wild, Heerbrugg, Schweiz. Z. f. V., 1941, Heft 3, 5; *Chrzarcz, R.*, Genauigkeitsuntersuchungen am Stereokartiergerät Wild A 6, Schweiz. Z. f. V., 1943, Heft 5, 6; *Blachut, Th.*, Aerotriangulation am Stereokartiergerät Wild A 6, Alpenfotogrammetrie-Mitt., Wels 1948, Heft 4.
104a Ein vereinfachtes Kartiergerät zur wirtschaftlichen Ausnützung der großen Universal-Auswertemaschinen, Druckschrift Ph 129 der Verkaufs A. G. H. Wilds geod. Instr., Heerbrugg.
105 a. a. O. 1 c, S. 5; a. a. O. 1 f, S. 3, 87; a. a. O. 48 a; a. a. O. 59 a.
106 a. a. O. 1 f, S. 99; a. a. O. 4 b, S. 152; *Boaga, G.*, Elementi di Geodesia e Topografia, Padova 1941, Cedam, S. 776.
106a *Cassinis, G.*, *Solaini, L.*, Lezioni di Fotogrammetria, Milano 1939, R. Politecnico-Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria, S. 239.
106b *Dore, P.*, Fondamenti di Fotogrammetria, Bologna 1938, Zanichelli, S. 238.
106c Istituto Geografico Militare, Fotogrammetria, Firenze 1940, IGM, S. 288.
107 a. a. O. 106 a, S. 336; a. a. O. 106 b, S. 266, 343; a. a. O. 106 c, S. 390, 403.
108 a. a. O. 1 a, S. 370, 445; a. a. O. 1 e, S. 518; a. a. O. 1 f, S. 124; a. a. O. 4 b, S. 133, 187, 190, 225; Schrifttum, S. 53, 67; a. a. O. 48 a, S. 424; *Pastorelli, A.*, *Blachut, Th.*, Versuche über Lufttriangulation mit Filmen und Statoskop am Wild-Autographen A 5, Mitt. d. Geod. Inst. d. ETH. Zürich, 1945; *Weele, A. J. van der*, Die Genauigkeit der gegenseitigen Orientierung, Schweiz. Z. f. V., 1948, Heft 8.

109 a. a. O. 4 b, S. 189.
110 a. a. O. 1 f, S. 124.
111 *Gruber, O. v.*, Bildmaßstab und Kartenmaßstab, B. u. L. 1937, Heft 3.
112 Verkaufs A. G. H. Wilds geod. Instr., Heerbrugg, Vergleich zwischen Wild A 6 und Multiplex (Mitt. Photogrammetrie Nr. 4), Alpenfotogrammetrie-Mitt., Wels 1948, Heft 4.
113 a. a. O. 1 a, S. 500; a. a. O. 1 c, S. 213, 227; a. a. O. 59 a, S. 432, 462; *Fritz, L.*, Über die Leistungsfähigkeit der Photogrammetrie in bezug auf Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit unter besonderer Berücksichtigung der Bedürfnisse des Bauingenieurs, in: *Gruber*, Ferienkurs, S. 483; Verkaufs A. G. H. Wilds geod. Instr., Heerbrugg, Wild A 5 oder Multiplex? (Zusätzliche Bemerkungen zu den Wirtschaftlichkeitsfragen bei Kartierungen geringer Genauigkeit.) Alpenfotogrammetrie-Mitt., Wels 1948, Heft 4.
113 a *Kasper, H.*, Die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der Präzisionsauswertegeräte für die Luftbildmessung, Alpenfotogrammetrie-Mitt., Wels 1948, Heft 4.
114 Schrifttum, S. 71; a. a. O. 1 a, S. 318, 502; a. a. O. 1 c, S. 6, 110, 142, 222; a. a. O. 1 f, S. 126; a. a. O. 4 b, S. 89, 228; *Brenneisen, M.*, Luftvermessung in der Antarktis, Schweiz. Z. f. V., 1948, Heft 8.
115 Schrifttum, S. 95.
116 Schrifttum, S. 110.
117 a. a. O. 1; a. a. O. 2; a. a. O. 4 b.
118 *Gruber, O. v.*, Beitrag zur Theorie und Praxis von Aeropolygonierung und Aeronivellement, B. u. L., 1935, Heft 4, S. 181.
119 *Bachmann, W. K.*, Théorie des erreurs de l'orientation relative, Lausanne 1943, Imprimerie La Concorde; *Gotthardt, E.*, Der Einfluß unregelmäßiger Fehler auf Luftbildtriangulationen, Z. f. V., 1944, Heft 4; *Bachmann, W. K.*, Théorie des erreurs et compensation des triangulations aériennes, Lausanne 1946, Imprimerie La Concorde; ders., Études sur la photogrammétrie aérienne, Heerbrugg 1946, S. A. de Vente des Instruments de Géodésie H. Wild; *Brandenberger, A.*, Fehlertheorie der äußeren Orientierung von Steilaufnahmen, Zürich 1946, Orell Füssli; *Kasper, H.*, Zur Fehlertheorie der gegenseitigen Orientierung, Schweiz. Z. f. V., 1947, Heft 6; *Bachmann, W. K.*, Zur fehlertheoretischen Behandlung neuer Probleme, Schweiz. Z. f. V., 1947, Heft 8; *Brandenberger, A.*, Theorie und Praxis der gegenseitigen Orientierung von Steilaufnahmen, Schweiz. Z. f. V., 1947, Heft 9; *Bachmann, W. K.*, Elementare Ableitung der Fehlertheorie der gegenseitigen Orientierung, Schweiz. Z. f. V. 1947, Heft 10, 11; ders., Theorie und Praxis der gegenseitigen Orientierung, Schweiz. Z. f. V., 1947, Heft 12; *Brandenberger, A.*, Der Einfluß der Autographenfehler auf die gegenseitige Orientierung bei senkrechten Aufnahmen, Schweiz. Z. f. V., 1948, Heft 4, 5.
120 a. a. O. 1 f, S. 15, 106; a. a. O. 4 b, S. 127; *Finsterwalder, R.*, Der gefährliche Ort der photogrammetrischen Hauptaufgabe und seine Bedeutung, besonders bei der Auswertung von Luftaufnahmen im Gebirge, B. u. L., 1938, Heft 3; *Jung, H.*, Über den gefährlichen Ort beim Normalfall der räumlichen Doppelpunkteinschaltung, Z. f. V., 1940, Heft 5; *Krames, L.*, Über bemerkenswerte Sonderfälle des „gefährlichen Ortes" der photogrammetrischen Hauptaufgabe. Monatshefte für Mathematik u. Physik, Leipzig-Wien 1941; *Killian, K.*, Über die bei der gegenseitigen Orientierung von Luftbildern vorkommenden „gefährlichen Flächen" und „gefährlichen Räume", Photographische Korrespondenz, Wien 1945, Helwich; *Krames, J.*, Untersuchungen über „gefährliche Flächen" und „gefährliche Räume" mittels des Aeroprojektors Multiplex, Österr. Ing.-Archiv, Wien 1948, Springer, Bd. II, Heft 2; ders., Die Bedeutung der „gefährlichen Raumgebiete" für das optisch-mechanische Orientieren von Luftaufnahmen, Photographische

Korrespondenz, Wien 1948, Helwich; ders., Über allgemeine „gefährliche Raumgebiete“ der Luftphotogrammetrie, Monatshefte für Mathematik, Wien 1948, Springer, Heft 4; *Kasper, H.*, Die Auswirkung kritischer Kreisschnitte bei der gegenseitigen Orientierung, Schweiz. Z. f. V., 1948, Heft 10; *Krames, J.*, Über das Wegschaffen von Restparallaxen mittels graphischer Konstruktionen, Schweiz. Z. f. V., 1949, Heft 10.

121 *Rinner, K.*, Die Geometrie des Funkmeßbildes, Anzeiger d. Österr. Akad. d. Wiss., Wien 1948, Nr. 14.

Namen- und Stichwortverzeichnis

Theodolite, Nivellierinstrumente, Meßgeräte

WILD
HEERBRUGG
2
3
4

Doppelkreis-
Reduktions-
Tachy-
meter DK-RT
Kern AARAU
Leichter Präzisions-Tachymeter, besonders geeignet für Kataster-vermessungen nach der Polarkoordinaten-Methode
Sehr helles Doppelbild-Fernrohr, ergibt automatisch Horizontal-distanzen. Neue, einfache Lattenablesung: Ablesung der ganzen Meter am Index der Latte, Rest auf Mikrometertrommel
Erreichbare Genauigkeit bei ruhiger Luft 1/10.000 der Horizontaldistanz
Vergütete Optik (AR-Belag)
Gewicht des Instrumentes ohne Verpackung 4,6 kg
Prospekt auf Verlangen

Berichtigungen zu „Geodäsie und Photogrammetrie, 2. Teil".

S. 22 Zeile 10 von unten: (4000^0) anstatt (400^0)

S. 47 Zeile 8 von oben: $ctg\, t_{2N}$ anstatt $ctg\, t_{2P}$

S. 65 Formel (8,15): v anstatt v_i

S. 92 In den Formeln unter Abb. 30 sind vor s_2 sowie s_4 und s_b anstatt der *positiven* Vorzeichen durchwegs *negative* Vorzeichen zu setzen.

S. 119 2. Zeile von Formel (12,12): $\frac{1}{\sqrt{\pi}} = h\, t$ anstatt $\frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot = h\, t,$

3. Zeile von Formel (12,12): $\frac{1}{\sqrt{2}} = h\, m$ anstatt $\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot m = h,$

S. 166 Zeile 16 von unten: Am Ende dieser Zeile ist nach dem Wort *mit* einzufügen $\sqrt{p_i}$

S. 193 Zeile 7 von oben: Letzter Wortteil *entspre-* anstatt *entpspre-*

S. 207 Zeile 10 des Kleindrucktextes: *Normalgleichungskoeffizienten* anstatt *Normalgleichungkoeffizienten.*

S. 209 Zeile 1 des Kleindrucktextes: *(Beispiel 14g)* anstatt *(Beispiel 14h)*
Zeile 2 des Kleindrucktextes: *Beispiel 14h* anstatt *Beispiel 14g*

S. 212 Formel (18,103): Letzte Wurzel p_i anstatt p_t

S. 222 Formel (19,40): Letztes Glied $n(A')^2$ anstatt $n(A')$

S. 234 Zeile 10 von unten: Am Beginn der Zeile ist vor dem $=$ einzufügen tg

S. 236 Tabelle, Bezeichnung der 4. Spalte soll lauten z_i anstatt z_l

S. 244 Formel (21,51), der Punkt am Ende der Formel ist zu streichen.

S. 246 Formel (21,63): Im Exponenten ist das Klammerzeichen (nach dem Pluszeichen zu streichen.

S. 248 Formel (21,65) und (21,68): Im Nenner beider Formeln ist nach dem 2. Glied jedesmal das abschließende Klammerzeichen) zu ergänzen.

S. 256 Kleindruckteil: Es wäre anzumerken, daß im Beispiel-Anhang die Seite mit der Bezeichnung „Beispiel 18 abc", auf der die Angaben für alle drei Beispiele, sowie der Beginn der Aufgabe „Mehrfaches Vorwärtseinschneiden (18a)" verzeichnet ist, in einem Teil der Buchauflage irrtümlich nach jenem Doppelblatt eingebunden ist, das die Fortsetzung der Rechnungen zum „Mehrfachen Vorwärtseinschneiden", sowie das „Mehrfache Rückwärtseinschneiden" (18b) und das „Vereinigte Einschneiden" (18c) enthält.

S. 279 Formel nach Zeile 9 von oben: Im Nenner der rechten Seite der Gleichung soll stehen γ anstatt β

S. 284 Zeile 2 von unten: c_{III} anstatt C_{III}

S. 286 Formel (27,25) soll lauten $s = l - 2p + 3$ anstatt $s = l - 2p - 3$.

S. 325 Formel (30,15): Das abschließende Klammerzeichen) ist zu ergänzen.

S. 348 Zeile 10 von unten: Δx_i anstatt Δx_l

S. 351 Zeile 5 von oben: y_0 anstatt y

S. 353 Tabelle 19, ist links unter Korr. zu setzen k_2 und k_3 anstatt K_2 und K_3

S. 354 Im Kleindruckteil, Zeile 1 ist zu setzen *Beispiel 20* anstatt *Beispiel 19.*

S. 388 Zeile 15 von unten: a' von K' ist durch Komma zu trennen.

S. 390 Formel (39,47): 1. Glied der 1. Zeile soll lauten $-N \cdot A'$ anstatt $N \cdot A'$

S. 400 Zeile 9 von oben soll enden mit *Richtun-* anstatt *Richtung-*